

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Vliv čistoty provozních kapalin na provoz lisu
Influence of operating fluid purity on the press operation

Student:

Bc. Martin Sütto

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Martin Sütto

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace:

72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Vliv čistoty provozních kapalin na provoz lisu
Influence of Operating fluid Purity on the Press Operation

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Čistota provozních kapalin má výrazný vliv na provoz stroje, což je výrazným faktorem ovlivňující provozní spolehlivost. Zabývejte se proto aplikací tribodiagnostických metod na lisech. Proved'te patřičné odběry technologických kapalin, proved'te jejich analýzu. Proved'te potřebné zhodnocení měření a proved'te výsledná doporučení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te potřebná měření.
5. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2018

..... Martin Lillo
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, же Высoкá школа ба́нская – Техни́ческая универзита Ostrava (дále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, же оdevздáнім své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2018

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Martin Sütto

Adresa trvalého pobytu autora práce: Stodolní 363, 747 14 Markvartovice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Sütto, M. *Vliv čistoty provozních kapalin na provoz lisu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 63 stran. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Diplomová práce je zaměřená na posouzení čistoty provozních kapalin klikového lisu a na hodnocení celkového technického stavu lisu. V první kapitole vás seznámím s firmou Kovona a.s. a popíšu zkoumaný lis a jeho technické parametry. V dalších kapitolách je popsána teorie technické diagnostiky a dvou jejích metod – vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky. V další části práce popisují metody získávání vibrodiagnostických a tribodiagnostických dat a vyhodnocení těchto dat. Výsledkem práce je zhodnocení kvality provozních kapalin a celkového technického stavu lisu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. Sütto, M. *Influence of Operating fluid Purity on the Press Operation: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 63 pages. Thesis head: Ing. Jan Blata, Ph.D.

The master thesis is focused on assessment operating fluid purity of crank press and evaluation of the overall technical situation. In first part, I introduce the Kovona a.s. company and describes examined press and its technical parameters. In next parts are describes technical diagnostics theory and two of its methods – vibrodiagnostics and tribodiagnosics. In next section of thesis, I describes methods of collection vibrodiagnostics and tribodiagnosics data and evaluation of these data. The result of work is evaluation quality of operating fluids and technical condition of the press.

Obsah

Seznam použitých zkratk a jednotek	9
Úvod	10
1 KOVONA SYSTEM a.s.	11
1.1 Produkty	12
1.2 Výroba	13
1.3 Diagnostikovaný lis EBU STAG 630	14
2 Technická diagnostika	17
3 Vibrodiagnostika	19
3.1 Snímače vibrací	19
3.1.1 Zásady pro umístění snímačů	21
3.2 Základní veličiny	22
4 Tribodiagnostika	23
4.1 Zásady pro odběr provozních kapalin:	24
5 Aplikace Tribodiagnostiky	24
5.1 Odběr vzorků	24
5.2 Zkoumané oleje	25
5.3 Metody Tribodiagnostiky použité v této práci:	27
5.3.1 Kinematická viskozita:	27
5.3.2 Obsah vody	29
5.3.3 Číslo kyselosti	31
5.3.4 Kód čistoty	32
5.3.5 Rozbor částic	35
5.3.6 Rentgenová spektrometrie	37
5.3.7 Spektrální analýza	39
6 Aplikace Vibrodiagnostiky	41
6.1 Záznam Vibrací	41
6.2 Analýza vibrací	42

6.3	Schéma měřících míst	43
6.4	Pravý elektromotor	44
6.5	Levý elektromotor	47
6.6	Planetová převodovka	50
6.7	Ojniční ložiska	55
Závěr		58
Použitá literatura		61
Seznam obrázků		62
Seznam tabulek		63
Seznam příloh		63

Seznam použitých zkratk a jednotek

a	Zrychlení
A	Axiální směr
a.s.	Akciová společnost
c	Konstanta viskozimetru
ČSN	Česká státní norma
f	Frekvence
FT-IR	Fourierova transformace s infračervenou spektrometrií
g	Tíhové zrychlení
H	Horizontální směr
i	Převodový poměr
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
KOH	Hydroxid draselný
L	Označení měřicího místa
Obr.	Obrázek
RMS	Efektivní hodnota (Root Mean Square)
RTG	Rentgenové záření
t	Čas
TAN	Číslo kyselosti (Total Acid Number)
v	Rychlost
V	Vertikální směr
τ	Doba průtoku oleje viskozimetrem
€	Euro (měna)

g	Gram, jednotka hmotnosti
Hz	Hertz, jednotka frekvence
kg	Kilogram, jednotka hmotnosti
kHz	Kilohertz, jednotka frekvence
kN	Kilonewton, jednotka síly
L	Litr, jednotka objemu
m	Metr, jednotka délky
m ²	Metr čtverečný, jednotka plochy
mg	Miligram, jednotka hmotnosti
mgKOH/g	Jednotka čísla kyselosti
min ⁻¹	Počet cyklů za minutu
ml	Mililitr, jednotka objemu
mm	Milimetr, jednotka délky
mm/s	Jednotka rychlosti
mm ² /s	Jednotka kinematické viskozity
mm/s ²	Jednotka zrychlení
PPM	Jedna miliontina celku (Parts Per Million)
s	Sekunda, jednotka času
°C	Stupeň celsia, jednotka teploty
μm	Mikrometr, jednotka délky

Úvod

Cílem diplomové práce je zhodnotit stav čistoty provozních kapalin klikového lisu ve společnosti Kovona System, a.s. v Českém Těšíně.

U lisu IBU STAG 630 se vyskytuje problém s rychle se znečišťujícím převodovým olejem, který se je nutné během krátkých intervalů měnit a to včetně výměny olejových filtrů. Znečištěný převodový olej má negativní vliv na provozní spolehlivost lisu a účinnost mazání, samotná výměna oleje a filtrů není levnou záležitostí. Proto se v této diplomové práci pokusím nalézt příčinu tohoto problému a navrhnout řešení, které by ji odstranilo.

V této práci jsem využil dvou metod technické diagnostiky – tribodiagnostiky s jejíž pomocí jsem hodnotil stav provozních kapalin i stav mazaných částí lisu a vibrodiagnostiky, kterou jsem zjišťoval celkový technický stav lisu. Odebral jsem celkem 2 vzorky oleje z nádrže v několika měsíčním rozestupu, tento olej je rozváděn do několika mazacích míst a slouží k mazání ojnicích ložisek a planetové převodovky, dále jsem odebral vzorek referenčního oleje k porovnání s použitým olejem. V laboratoři technické diagnostiky jsem provedl rozbor těchto olejů s pomocí několika tribodiagnostických metod.

Později jsem provedl další odběry převodového a navíc i hydraulického oleje a provedl jsem další rozbor v laboratoři. Rovněž jsem s pomocí analyzátoru vibrací při dvou měřeních v 3 měsíčním rozestupu zaznamenal hodnoty vibrací na elektromotorech, planetové převodovce a ojnicích ložiskách v horizontálním, vertikálním a axiálním směru a naměřené hodnoty jsem poté vyhodnotil.

Z vyhodnocených dat se pokusím odhadnout příčinu problému rychle se znečišťujícího oleje a navrhnout jak ji odstranit a zhodnotím celkový technický stav lisu.

1 KOVONA SYSTEM a.s.

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [1]

KOVONA SYSTEM a.s. je česká výrobní společnost, orientující se na globální trh. Jejím primárním zaměřením je velkosériová kovovýroba.

Tato společnost vznikla v roce 2000, odkoupením výrobních aktiv společnosti Kovona Karviná a.s. a navazuje tak na více než 100 letou tradici v kovovýrobě, zbývající část byla odkoupena v roce 2007. V roce 2004 byl vybudován nový výrobní závod v Českém Těšíně, kde byly postupně rozšiřovány výrobní kapacity. KOVONA SYSTEM má aktuálně 740 zaměstnanců a její roční obrat v roce 2016 činil 75 000 000 €. Své výrobky dodává do mnoha zemí světa od Ameriky až po Japonsko. Nejvýznamnější zákazníkem je Švédská nábytkářská firma IKEA.



Obr. 1-1 Hlavní budova a přilehlé výrobní haly Kovony v Českém Těšíně [1]

1.1 Produkty

Ocelové profily:

Ocelové profily jsou zpravidla vyráběny ze za tepla nebo za studena válcovaného pásu, nebo pozinkovaného pásu. Jsou vyráběny otevřené L, U, C profily a speciální profily a také uzavřené profily, trubky a svodnice vody. Nabízená je rovněž výroba na zakázku podle požadavků zákazníka a technologických možností



Obr. 1-2 Výroba ocelových profilů [1]

Regálové systémy:

Kovové regály jsou tradičním produktem společnosti, přičemž jsou regály vyráběny v několika typových řadách, které díky své vysoké kvalitě, široké škále rozměrů, barev a nosností nacházejí své uplatnění v mnoha průmyslových a spotřebitelských aplikacích.



Obr. 1-3 Regálový systém [1]

1.2 Výroba

Primární aktivitou společnosti je velkosériová kovovýroba, čemuž odpovídá i výrobně technické zázemí společnosti. Výroba probíhá jak na univerzálních, tak jednoúčelových automatizovaných pracovištích, linkách či technologických celcích.



Obr. 1-4 Jedno z výrobních pracovišť [1]

Výrobní linky a stroje v KOVONA SYSTEM a.s. umožňují mnoho výrobních postupů, mezi které patří:

- Válcování profilů a trubek
- Dělení profilů, trubek a plošného materiálu
- Bez deformační ohýbání profilů a trubek
- Lisování a ohraňování
- Děrování profilů a trubek
- Automatické závitování a flowdrill
- Svařování
- Povrchové úpravy

1.3 Diagnostikovaný lis EBU STAG 630

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [2] a [3]

Tento lis byl vyroben Německým výrobcem Ebu Umformtechnik GmbH. Výrobce vyrábí tento typ lisu ve variantách s velkým rozpětím lisovací síly od 400 kN do 16000 kN. Délka lisovacího stolu je omezena maximálně na 6000 mm. Lisy mohou být vybaveny různými verzemi pohonu.

Diagnostikovaný lis je poháněn dvěma elektromotory Siemens, s nich jeden slouží jak hlavní motor a druhý jako pomocný pro přibrzdování a plynulejší chod. S pomocí planetové převodovky je hnací moment přenesen na klikový hřídel, na převodovku navazuje i hydraulická brzda. Na klikové hřídeli jsou dvě ojnice k vyvození lisovací síly. K uložení hřídele slouží kluzná ložiska, umístěné před a za ojnici, celkem se jedná o 4 kluzná ložiska.

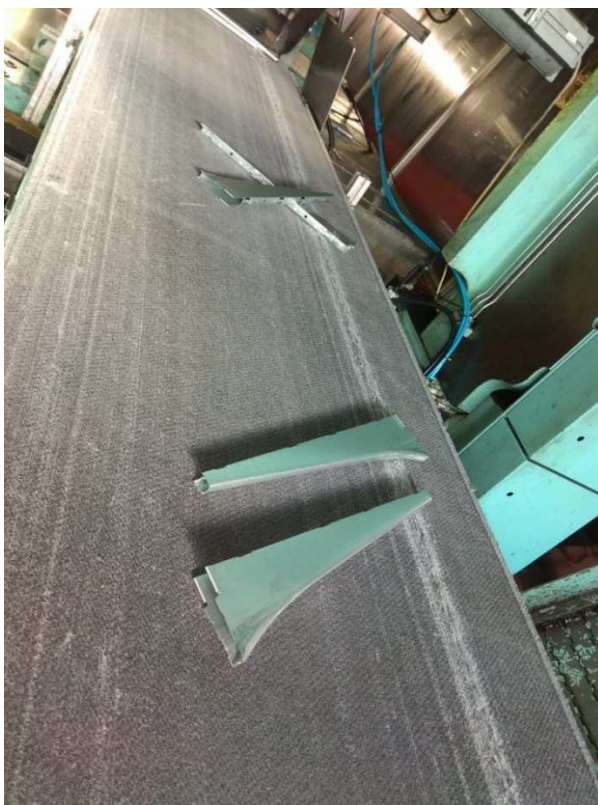
Důležité je zmínit že v lednu 2016 došlo u tohoto lisu k havárii, kdy došlo k poškození uložení na klikové hřídeli a jedné z ojníc. Při opravě se hřídel se musela osoustružit a ojnice vyměnit.



Obr. 1-5 lis ze série ebu STA-G [2]



Obr. 1-6 Výroba produktů v pracovním prostoru



Obr. 1-7 Hotové výrobky na výrobní lince

Tabulka 1-1 Technické parametry lisu

Rok výroby	2012
Výrobce	Ebu Umformtechnik GmbH
Výrobní číslo	P 54 781/12A
Typ pohonu	2 elektromotory Siemens
Označení motoru	1FW3287-3CM65-5AP0-Z
Maximální otáčky motoru	1000 [min ⁻¹]
Planetová převodovka	Desch – DS 350
Převodový poměr	i = 15,426
Typ mazání	Hydrostatické
Ložiska ojnice	Kluzné uložení
Lisovací síla	6300 [kN]
Zdvih	20 ÷ 80 [mm]
Výška zdvihu	550 [mm]

2 Technická diagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [4]

Technická diagnostika je obor, který v sobě zahrnuje soubor metod, používaných k detekci vznikajících poruch a k objektivnímu zjišťování technického stavu zkoumaného objektu.

Aplikací technické diagnostiky v údržbě dosáhneme zvýšení bezpečnosti v provozu, mimo to zlepšíme ekonomičnost a ekologičnost v provozu. Technická diagnostika by měla jít ruku v ruce s údržbou a prostředky do ní vložené se nám časem vrátí formou úspory energií, snížením zmetkovitosti, prodloužením životnosti strojů, ale i zabráněním fatálních havárií v provozu.

Proč tedy zavádět technickou diagnostiku a řídit se jejími výsledky:

- Prodloužíme celkovou životnost stroje
- Zvýšíme provozní spolehlivost stroje a snížíme zmetkovitost výrobků
- Snížíme mechanické ztráty a ušetříme za energie
- Když diagnostikujeme vznikající poruchu včas, ušetříme náklady za pozdější opravy
- Můžeme snadněji naplánovat odstávku a snížit výrobní prostoje
- Lépe ochráníme zdraví pracovníku a zvýšíme bezpečnost ve výrobě

Hlavní úkoly diagnostiky:

Detekce - zjištění přítomnosti vznikajících vad a poruch

Lokalizace - nalezení místa vzniku poruchy nebo nalezení vadné součásti

Specifikace - zjištění příčiny vzniku vad a poruch

Predikce - prognóza zbytkové životnosti a naplánování termínu opravy a dalších logistických úkonů

Rozdělení technické diagnostiky:

Technická diagnostika se dá rozdělit podle mnoha hledisek, nejzákladnější rozdělení je technická bezdemontážní diagnostika, která se dělí na funkční a provozní diagnostiku a technická nedestruktivní diagnostika – defektoskopie, ve své práci se budu věnovat některým metodám technické bezdemontážní diagnostiky.

Metody bezdemontážní TD:

Vibrodiagnostika: Využíváme faktu, že prvky stroje během svého rotačního chodu generují vibrace, technický stav stroje tedy vyhodnocujeme analýzou zaznamenaného vibračního signálu. Pro analýzu signálu se využívá rychlost, zrychlení nebo výchylka vibrací.

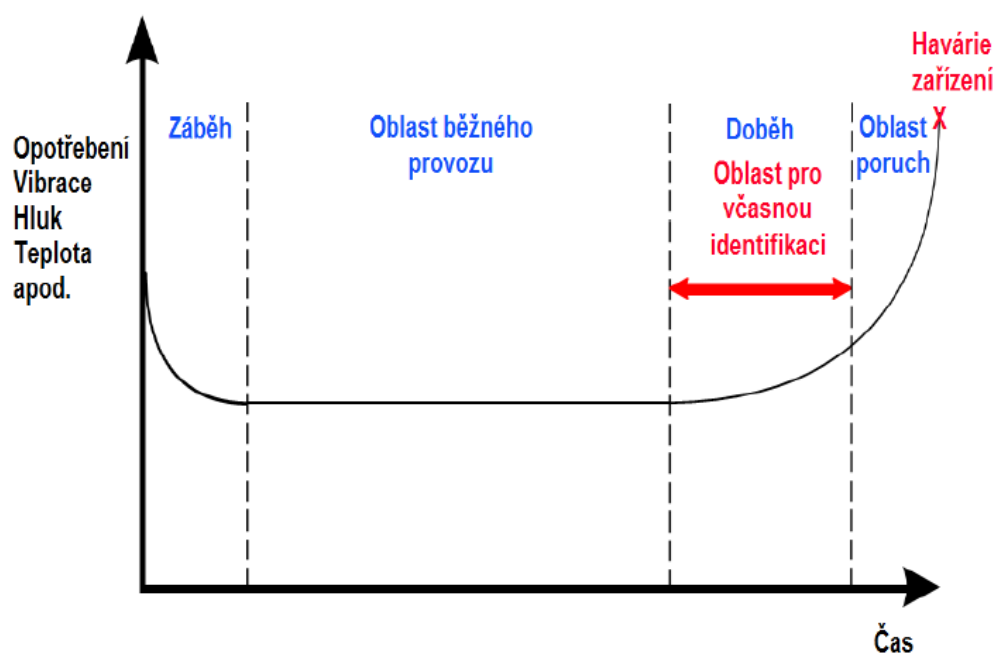
Tribodiagnostika: Zahrnuje mnoho metod, díky kterým můžeme získat informace o technickém stavu mazaných součástí, mimo toho se zabýváme také zjišťováním stavu samotného maziva.

Termodiagnostika: Zabývá se měřením teploty a zkoumáním teplotních obrazců, nejčastěji strojů nebo budov, provádí se s pomocí různých druhů teploměrů a termo kamer.

Akustická diagnostika: Sledujeme projevy závad za pomoci vyhodnocení akustického signálu, často se provádí v souvislosti s negativním působením nežádoucího zvuku – hluku na lidský organismus.

Vanova křivka:

Vanova křivka charakterizuje průběh opotřebení v závislosti na čase. Tento vývoj můžeme pozorovat i v některých metodách technické diagnostiky. Na osu Y se zavádí velikost projevů opotřebení a na osu X časový horizont měření. Tato křivka nám umožňuje posoudit rychlost vývoje projevů vad a určit naléhavost provedení servisního zásahu.



Obr. 2-1 Vanova křivka [4]

3 Vibrodiagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [4] a [5]

Vibrodiagnostika patří k nejvyužívanějším metodám technické diagnostiky. Pro vyhodnocení technického stavu stroje je využíván vibrační signál, který je generován při rotačním chodu prvků zkoumaného stroje. Tento signál je zaznamenán a poté provádíme jeho analýzu. Touto metodou se dá zjistit rozličné množství hlavně mechanických závad jako je nesouosost hřídele, nevývaha, mechanické uvolnění, různé druhy opotřebení ložisek nebo ozubených převodů a další.

3.1 Snímače vibrací

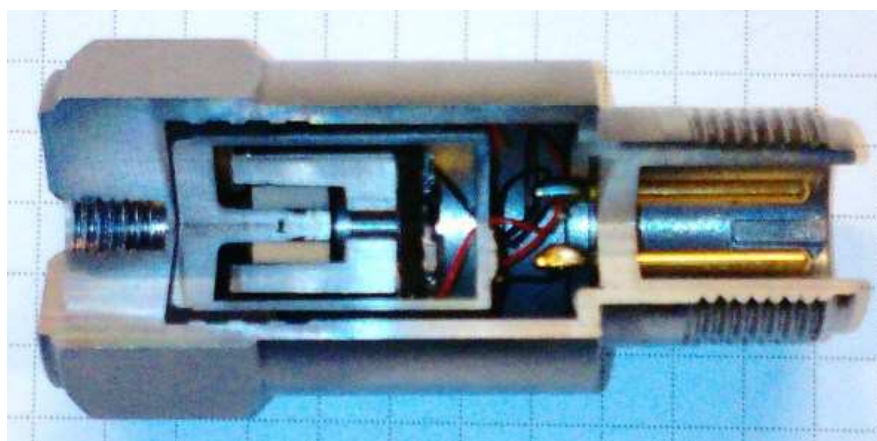
Snímače vibrací slouží k detekci a zaznamenání mechanických vibrací. Existuje mnoho druhů snímačů a liší se vhodností použití v různých podmínkách, přesností, dynamickým rozsahem, frekvenční odezvou, rezonančními vlastnostmi, teplotním rozsahem, citlivostí, hmotností, cenou.

Snímače se dělí na 2 základní typy:

- **Seismická zařízení** – upevní se na konstrukci stroje a jejich výstup je míra absolutních vibrací konstrukce.
- **Snímače relativní výchylky** – zaznamenají relativní výchylku mezi rotujícími a nerotujícími díly zařízení.

Rozdělení podle měřené veličiny:

- **Snímače výchylky** – měří změnu vzdálenosti nebo polohy proti referenční poloze, první typy byly konstrukčně velmi jednoduché a byly založeny na principu pákového mechanismu, dnes se však s těmito typy snímačů téměř nesetkáme, dalším snímačem tohoto typu, který se stále používá je bezdotyková sonda, které převážně pracuje na principu vířivých proudů.
- **Snímače rychlosti** – tyto snímače fungují na principu indukce při změně magnetického pole, jde o seismické zařízení, která generují napěťový signál, ten je úměrný rychlosti mechanických vibrací tělesa. Použití těchto snímačů ale není moc výhodné pro jejich větší rozměry, vyšší cenu a kvůli omezenému hornímu kmitočtu.
- **Snímače zrychlení (akcelerometry)** – jsou nejpoužívanějším typem snímačů, měřenou veličinou je zrychlení, které je ovšem možné matematicky převést na rychlost nebo výchylku vibrací. Při měření vibrací je využíván piezoelektrický jev, při kterém se na stěnách piezoelektrického krystalu vytváří elektrický náboj, který je úměrný zrychlení vibrací prvku. Velká výhoda těchto snímačů spočívá v jednoduché konstrukci a nižší ceně. Tyto snímače se dělí podle směru působení síly na smykové, tlakové a ohybové. Tento typ snímače jsem použil ve své práci.



Obr. 3-1 Řez smykovým akcelerometrem [4]

Způsoby upevnění snímačů:

Všechny způsoby připevnění snímačů mají své výhody a nevýhody, způsob upevnění volíme podle požadavků na měření a podle našich technických možností, při své práci jsem použil snímače s magnetem.

Tabulka 3-1 Vliv připevnění na výkon snímače [4]

Metoda připevnění	Vliv na výkonnost snímače (např. snímače s rezonancí 30 kHz)
Pevný šroubový spoj	V tomto rozsahu snímače nedochází k žádnému snížení rezonanční frekvence snímače v důsledku připevnění
Izolovaný šroubový spoj	Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slídy, montážní rezonanční frekvence je mírně snižena asi na 28 kHz
Přilepení tuhým lepidlem	Rezonance je snižena asi na 28 kHz
Přilepení měkkým epoxidem	Rezonance je snižena asi na 8 kHz
Připevnění permanentním magnetem	Rezonance je snižena asi na 7 kHz
Ruční sonda se snímačem	Rezonance je značně závislá na přítlaku a zkušenostech obsluhy. Metoda není doporučena pro měření nad 1 kHz

3.1.1 Zásady pro umístění snímačů

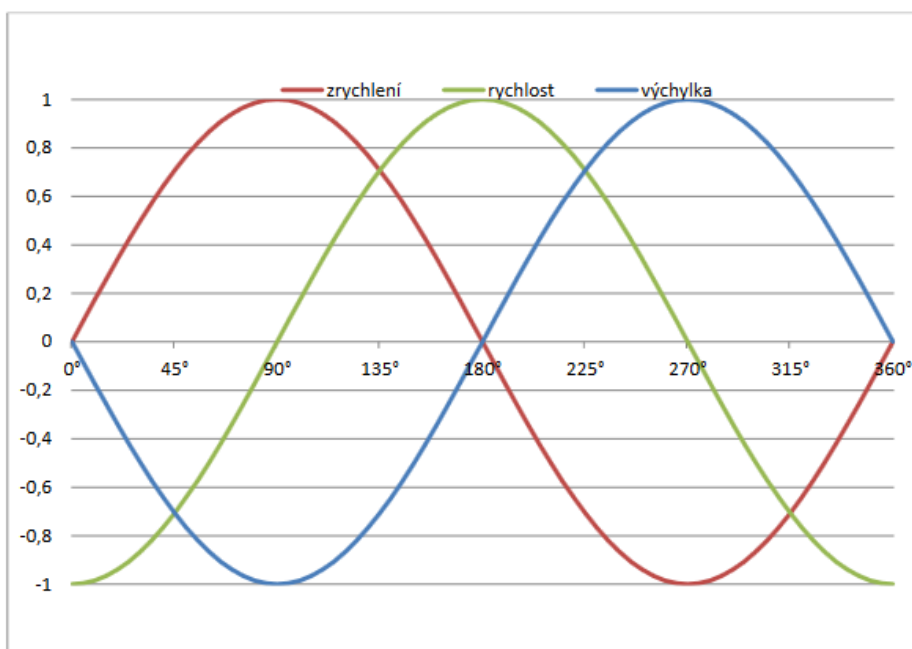
Pro správné a relevantní zaznamenání vibrací platí několik zásad, na které bychom měli během umístění snímačů myslet:

- Snímače se umisťujeme co nejblíže k měřenému prvku, ovšem tak aby to bylo bezpečné a nedošlo například k zachycení kabelů snímače rotující části stroje a následnému namotání
- Pokud je to technicky možné, uchycujeme tři snímače ve třech na sobě kolmých směrech – horizontálním, vertikálním a axiálním.
- Snímače neumisťujeme na přechodech mezi materiály na oplechovaných částech stroje nebo na místech pod kterými je vzduchová kapsa, aby nedošlo ke zkreslení nebo utlumení signálu, proto je důležité znát konstrukci měřeného stroje.
- Pokud provádíme více záznamů v časovém horizontu, měříme za stejných podmínek – stejné otáčky, stejné zatížení, stejný pracovní režim, stejné místo aby bylo porovnávání změn v signálu relevantní.
- Udržujeme snímače vibrační čisté, například očištěním špon, nebo oleje. Silně znečištěná místa, na které chceme umístit snímače, předem očištíme.

3.2 Základní veličiny

Signál je hodnocen ve třech základních veličinách: rychlost [mm/s], zrychlení [mm/s²] nebo [g], a výchylka vibrací [μm].

Rychlost se využívá při identifikaci poruch na nízkých a středních frekvencích často se sleduje v pásmu 10 – 1000 Hz, v tomto pásmu se často vyskytují projevy nesouososti, nevývahy, uvolnění a další. Pro včasnou identifikaci poruch ve vysokých frekvencích se využívá zrychlení, to se nejčastěji sleduje v pásmu 500 – 25600 Hz. V tomto pásmu se vyskytují projevy závad ložisek, převodů, mazání. Poslední veličinou je výchylka, ta má užší využití a používá se k monitorování technického stavu turbín pomocí bezdotykových sond na principu vířivých proudů.



Obr. 3-2 Fázové porovnání zrychlení rychlosti a výchylky [4]

4 Tribodiagnostika

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [4] a [6]

Tribodiagnostika je další z často používaných metod technické diagnostiky, při které provádíme analýzu provozních kapalin prostřednictvím různých zkoušek. Ve své podstatě platí lékařská analogie, jako se z krevních testů určuje zdravotní stav pacienta, tak se z testů oleje určuje technický stav stroje. Analýza se zaměřuje dvě hlavní oblasti, a to na technický stav strojního zařízení a na posouzení kvality samotného maziva, které v průběhu času degraduje (stárne).

Rozdělení podle 2 hlavních oblastí:

1) Testy pro sledování degradace maziva:

- Kinematická viskozita
- Bod vzplanutí
- Obsah vody
- Číslo celkové kyselosti a alkality
- Conradsonův karbonizační zbytek
- Kapková zkouška
- Celkové znečištění
- Mechanické nečistoty
- Spektrální analýza olejů

2) Metody pro určení technického stavu strojů

- Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů:
 - Atomová spektrofotometrie
 - Atomová emisní spektrofotometrie
 - Atomová absorpční spektrofotometrie
 - Polarografie a Voltametrie
 - Metoda RAMO
- Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení částic kovů:
 - Ferografie, neboli částicová analýza, s rozdělením:
 - feroskopickým (morfologie a chemické složení)
 - ferodenzimetrickým (distribuce na základě velikosti)

4.1 Zásady pro odběr provozních kapalin:

Odběr se provádí do čistých a suchých vzorkovnic. Po odběru vzorkovnicí uzavřeme a označíme potřebné údaje. Olej obvykle naplníme asi do $\frac{3}{4}$ vzorkovnice aby bylo možné před testováním v laboratoři vzorek pohodlně homogenizovat protřepáním. Stroj musí být před odběrem alespoň 20 minut v chodu, aby došlo k promíchání olejové náplně v nádrži. Pokud používáme pro odběr výpustný ventil je nutné prvních cca 500 ml vrátit zpět do nádrže z důvodu možnosti usazených nečistot.

5 Aplikace Tribodiagnostiky

5.1 Odběr vzorků

15. 1. 2018 jsem odebral převodový olej přímo z nádrže stroje a k tomuto oleji i referenční olej do 500 ml vzorkovnic. Stroj byl před odběrem minimálně 1 hodinu v provozu. Vzorky jsem odnesl do laboratoře a tam jsem je později zanalyzoval. Použitý olej nesl známky zakalení. 16. 2. 2018 se měnila celá olejová náplň převodového oleje a olejové filtry. 25. 4. 2018 jsem odebral další vzorek převodového oleje z nádrže a taky vzorek hydraulického oleje. Tyto oleje jsem zanalyzoval v laboratoři.



Obr. 5-1 Vzorkovnice s oleji

5.2 Zkoumané oleje

Převodový olej: Mobilgear 600 XP 68

Lis má společný mazací okruh pro mazání ojničních ložisek, planetové převodovky a hřídele motorů. Společná je také mazací nádrž. Mazací okruh tvoří 4 čerpadla, které rozvádějí olej přes 2 filtry. Množství oleje v okruhu je 600 l.

Použité filtry: 2x FILTREC AWG - 108



Obr. 5-2 Místo odběru převodového oleje (snímek pořízen při výměně oleje)



Obr. 5-3 Čerpadla k rozvádění oleje a filtry

Tabulka 5-1 Parametry oleje Mobilgear 600 XP 68 dle výrobce

Viskozitní třída ISO	68
Viskozita při 40 °C	68 mm ² /s
Viskozita při 100 °C	8,8 mm ² /s
Viskozitní index	101
Bod vzplanutí	230 °C
Bod Tuhnutí	-27 °C

Hydraulický olej: Lotos HM 46

Hydraulický olej je zde pro hydraulické uchycení nástrojů do upínek a také pro ovládání hydraulické brzdy. Množství oleje v okruhu je 60 l.



Obr. 5-4 Místo odběru hydraulického oleje

Tabulka 5-2 Parametry oleje Lotos HM 46 dle výrobce

Viskozitní třída ISO	46
Viskozita při 40 °C	46 mm ² /s
Viskozitní index	100
Bod vzplanutí	238 °C
Bod Tuhnutí	-33 °C

5.3 Metody Tribodiagnostiky použité v této práci:

5.3.1 Kinematická viskozita:

Viskozita je jeden ze základních parametrů olejů, což dokazuje i číslice, která bývá uvedena v názvu oleje, která značí, jakou má daný olej viskozitu. V podstatě se jedná o vnitřní tření kapaliny. Viskozita je parametr, který doporučuje výrobce mazaného stroje, kdy příliš vysoká viskozita způsobuje vyšší energetické ztráty v důsledku vyššího koeficientu tření, zvýšení bývá způsobeno oxidací. Naopak příliš nízká viskozita znamená ztrátu mazacího filmu a může dojít až k suchému tření, a tedy opotřebení. Snížení může být způsobeno například vniknutím jiných provozních kapalin do nádrže. Dle normy je povoleno nárůst nebo snížení viskozity maximálně o 10 %. Měření se provádí při 40 nebo 100 °C. Při měření jsem použil Ubbelohdeho kapilární viskozimetru s konstantou 0,0998 a 0,0999 mm²/s².

Postup měření

Viskozimetr jsem naplnil homogenizovaným vzorkem oleje po danou rysku a nechal jsem oleje temperovat v 40 °C lázni po dobu 30 minut. Poté jsem nasál olej nad horní rysku a poté sání zanechal. Jakmile se dostala hladina oleje na úroveň této rysky, spustil jsem stopky. V momentě kdy hladina oleje klesla na druhou rysku pod horní baňkou, stopky jsem zastavil. Následný čas v sekundách jsem zapsal a použil pro výpočet viskozity, který se počítá podle vzorce:

$$v = c \cdot \tau \text{ [mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

Kde: c – konstanta viskozimetru

τ – doba průtoku oleje viskozimetrem

Výsledky měření

Tabulka 5-3 Naměřené hodnoty viskozity

Vzorek	Kinematická viskozita při 40 °C
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	57,38 mm ² /s
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	62,24 mm ² /s
Mobilgear 600 XP 68 referenční	67,93 mm ² /s
Hydraulický olej Lotos HM 46	47,60 mm ² /s

U obou vzorků použitého převodového oleje vidíme trend v klesání kinematické viskozity, což může mít za následek ztrátu mazacího filmu a zvýšení tření mazaných stykových ploch ložisek i převodovky. Dle informací z údržby dochází v mazacím systému k mísení převodového oleje a hydraulického oleje (uniká z vadného těsnění), což by mohla být jedna z příčin klesající viskozity. Vhodné by bylo mazací okruh utěsnit tak, aby se tyto provozní kapaliny nemohli promíchat, jelikož nízká viskozita znamená vyšší tření a vyšší tvorbu otěru.



Obr. 5-5 Kapilární viskozimetr (7)

5.3.2 Obsah vody

Přítomnost vody v oleji je nežádoucí, protože podporuje korozi mazaných částí, zhoršuje vlastnosti aditiv, způsobuje pění a tvorbu emulze v oleji, zvyšuje viskozitu a snižuje oxidační stabilitu oleje. Vlivem vlhkosti prostředí ovšem úplného odstranění vody z oleje nedosáhneme. Tolerované množství vody v oleji závisí na jeho typu a použití. Obecně se uvádí, že by množství vody v oleji nemělo překročit 0,2 % hmotnostního obsahu.

Využívá se celá řada zkoušek, některé slouží pouze k odhalení přítomnosti vody, a to vizuální prohlídka po protřepání, nebo prskací zkouška. Některé zkoušky jako coulometrická metoda nebo destilační zkouška dokáží určit koncentraci vody i číselně. Ve své práci jsem využil coulometrické zkoušky

Postup měření

Měření se provádí podle normy ČSN 65 0330.

Nejprve jsem odebral homogenizovaný vzorek oleje do injekční stříkačky a zvážil jsem ho. Když byl přístroj připraven, vstříknul jsem vzorek oleje do odpařovací nádobky. Voda má nižší bod varu než olej, takže se začne dříve odpařovat. V kondenzačních trubičkách voda reaguje s jódem, který se uvolňuje průchodem elektrického proudu. Přístroj zaznamenává množství proudu nutné k uvolnění jódu. Pro zjištění navážky se znova zváží stříkačka po vystříknutí vzorku a váha ji odečte od původní hmotnosti. Množství navážky je zadáno do přístroje a ten následně určí koncentraci vody. U každého vzorku jsem provedl 2 měření a výsledky jsem zprůměroval.

Výsledky měření

Tabulka 5-4 Naměřené výsledky obsahu vody

Vzorek	Obsah vody
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	0,0013 %
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	0,0066 %
Mobilgear 600 XP 68 referenční	0,0085 %
Hydraulický olej Lotos HM 46	0,0048 %

Obsah vody u všech zkoumaných vzorků je v normě a z tohoto ohledu jsou oleje v pořádku.



Obr. 5-6 Coulometr Diram WTD

5.3.3 Číslo kyselosti

Zvýšení kyselosti je negativní jev, který vzniká degradací oleje. Příliš velká kyselost oleje podporuje korodování mazaných součástí. Číslo kyselosti je značeno zkratkou TAN (Total Acid Number).

Postup měření:

Metoda je založená na titraci kyselých složek, obsažených ve vzorku oleje v roztoku hydroxidu draselného (KOH). Do Titračního Coulometru jsem aplikoval injekční stříkačkou vzorek protřepaného oleje, hmotnost vzorku jsem zjistil zvážením. Zařízení sleduje množství spotřebovaného KOH k neutralizaci všech kyselých složek ve vzorku oleje. Titrační Coulometr je připojen k pc a po krátkém softwarovém výpočtu je potřeba zadat hmotnost aplikovaného vzorku oleje. Program zobrazí celkové číslo kyselosti v jednotkách mgKOH/g. Tato jednotka značí množství spotřebovaného KOH v miligramech na 1 gram vzorku. Ke každému vzorku byly provedeny 3 měření a výsledky jsem poté zprůměroval.

Výsledky měření

Tabulka 5-5 Výsledky měření čísla kyselosti

Vzorek	Číslo kyselosti
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	0,591 mgKOH/g
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	0,746 mgKOH/g
Mobilgear 600 XP 68 referenční	0,747 mgKOH/g
Hydraulický olej Lotos HM 46	0,803 mgKOH/g



Obr. 5-7 Coulometr

U vzorku převodového oleje odebraného 15. 1. 18 je vidět pokles čísla kyselosti, což je nejspíše způsobeno poklesem některých aditiv. Druhý odebraný vzorek převodového oleje má totožné číslo kyselosti jako referenční.

5.3.4 Kód čistoty

Při této zkoušce se zjišťuje počet pevných částic v oleji vzhledem k jejich velikosti, vyhodnocení se může provádět pomocí několika norem.

Postup měření:

Měření probíhalo tak, že se přes filtr prolilo 25 ml protřepaného vzorku oleje, který byl smíchaný s technickým benzínem. Filtr se následně vloží do mikroskopu, který pořídí požadovaný počet snímků, při této zkoušce bylo nastaveno pořízení 50 snímků. K vyhodnocení byl použit software Lambdasoft 2007 od společnosti Diram s.r.o. Vyhodnocení proběhlo podle 2 norem.

Vyhodnocení dle normy ČSN ISO 4406:

Touto normou je definován počet částic v 1 [ml] oleje. Kód obsahuje tři čísla, kde:

1. číslo reprezentuje počet částic větších než 4 [μm]
2. číslo reprezentuje počet částic větších než 6 [μm]
3. číslo reprezentuje počet částic větších než 14 [μm]

Vyhodnocení dle normy NAS 1638:

Tato norma definuje 14 tříd znečištění a vychází z rozdělení částic dle jejich velikosti v několika skupinách - 5 až 15 μm, 15 až 25 μm, 25 až 50 μm, 50 až 100 μm a vyšší než 100 μm. Touto normou je definován počet částic na 100 [ml] oleje.

Výsledky měření

Tabulka 5-6 Výsledky měření kódu čistoty dle normy ČSN ISO 4406

Vzorek	ČSN ISO 4406/99	> 4 μm	> 6 μm	> 14 μm
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	16/14/11	331	106	16
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	15/14/12	318	106	23
Mobilgear 600 XP 68 referenční	17/16/13	861	435	52
Hydraulický olej Lotos HM 46	17/16/14	1122	577	107

Tabulka 5-7 Výsledky měření kódu čistoty dle normy NAS 1638

Vzorek	NAS 1638	> 5, <= 15 μm	> 15, <= 25 μm	> 25, <= 50 μm	> 50, <= 100 μm
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	7	17318	787	787	0
Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	9	14773	758	1136	379
Mobilgear 600 XP 68 referenční	8	57536	4426	805	0
Hydraulický olej Lotos HM 46	10	69900	5529	2764	790

Vzorky oleje jeví známky znečištění. V použitých vzorcích převodového oleje se vyskytují hlavně částice o velikosti kolem 1 μm , což ovšem výše uvedené normy nereflektují. Původ těchto částic je částečně běžný otěr, podle chemického složení pochází z největší pravděpodobnosti z převodovky, ale nelze vyloučit, že jde částečně i o prach z okolních pracovišť. Některé částice mohou vnikat jako produkty tepelné či chemické degradace v oleji. U referenčního oleje vidíme vyšší počet částic nad 4 μm , většinu těchto částic po nalití oleje do systému poté zachytí filtry. Příčina může být špatném skladování nebo v distribuci oleje. Nejvíce znečištěný je hydraulický olej doporučil bych alespoň dolití nového do nádrže, neboť i při jeho odběru ho bylo v nádrži málo, ještě vhodnější by bylo stávající olej vysát, nádrž vyčistit a vyměnit olej za nový.



Obr. 5-8 Mikroskop s příslušným pc softwarem [8]



Obr. 5-9 Referenční převod.

Obr. 5-10 Převod. 15. 1. 18



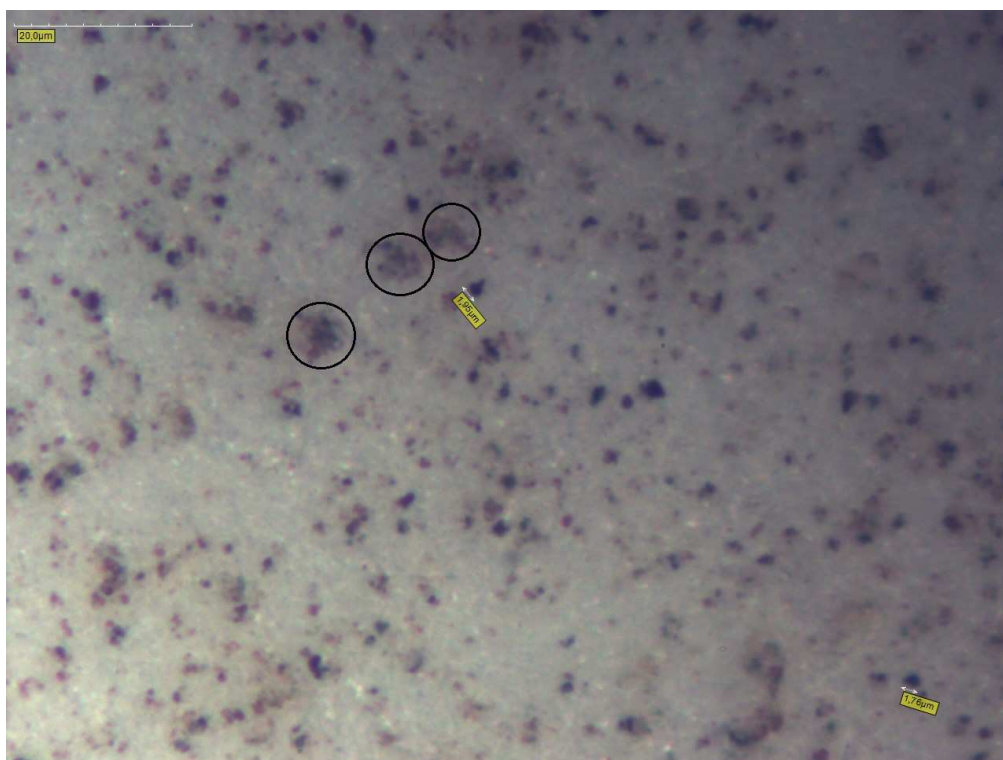
Obr. 5-11 Převod. 25. 4. 18

Obr. 5-12 Hydraulický

Oba filtry, přes které byli přelití vzorky použitého převodového oleje, obsahují velké množství kalů, na referenčním vzorku a vzorku hydraulického oleje jsou zase vidět známky znečištění většími částicemi.

5.3.5 Rozbor částic

Pro rozbor částic byl použit výše zobrazený filtr převodového oleje, který byl odebrán 25.4. Pod mikroskopem bylo při 50x přiblížení pořízeno několik snímků. Rozbor snímků pod tímto přiblížením pomůže odhalit původ částic, které se v oleji nachází.



Obr. 5-13 Příklad snímek filtru převodového oleje (25. 4.) při 50x přiblížení

Všechny snímky, pořízené pod mikroskopem byly hodně podobné. Pokud se detailněji podíváme na tvar částic na filtru, tak můžeme vidět znečištění kovovými a nekovovými částicemi přibližně v poměru přibližně 50:50, tmavší částice jsou v tomto případě kov. Některé kovové částice mají sférický tvar, což značí obvykle únavové opotřebení ložisek. Většina kovových částí má ale nepravidelný tvar, z větší části půjde o otěr z převodovky, ale může jít i o kovové částice z okolního obrábění, nebo svařování. Na obrázku lze pozorovat i světlejší skvrny, jedná se o měkké kaly, které způsobují kalný vzhled oleje a zbarvení do hněda. Jde o produkty degradace oleje, s největší pravděpodobností chemické, ke které může docházet vlivem vniknutí hydraulického oleje do nádrže s převodovým olejem. Nelze ale vyloučit např. tepelnou degradaci, která může vzniknout lokálním tepelným přetížením oleje, ovšem teplotní čidla na lisu žádné vysoké teploty nehlásila.

5.3.6 Rentgenová spektrometrie

K tvorbě této kapitoly bylo využito literatury [7]

Analýza vzorků proběhla s pomocí rentgenového fluorescenčního spektrometru SPECTRO XEPOS. Tento přístroj pracuje na principu energo-dispersní rentgenové fluorescenční technologie. Jde o velmi spolehlivou metodu, která dokáže přesně učit chemické složení zkoumaného vzorku. Přístroj je schopný detekovat širokou škálu chemických prvků, v periodické tabulce prvků se jedná o prvky od sodíku až po uran.

Postup měření:

Do jedné z nádobek se vloží malý vzorek homogenizovaného oleje. Tento vzorek je ozářen rentgenovým RTG zářením, s pomocí rentgenové lampy. Signál takto vybuzených prvků je dále zaznamenán detektorem, který převádí energii fotonů na elektrické pulzy. Intenzita radiace každého prvku, vzhledem k jeho koncentraci ve vzorku, se interně přepočítá pomocí sady kalibračních křivek a zobrazí se koncentrace chemických prvků ve vzorku, nejčastěji se využívá jednotka PPM – Parts Per Million.

Výsledky měření

Tabulka 5-8 Výsledky rentgenové spektrometrie: otěrové kovy

Otěrový kov	Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	Mobilgear 600 XP 68 referenční	Hydraulický olej Lotos HM 46
Železo - Fe	117,6ppm	120,5ppm	10,0ppm	29,9ppm
Měď - Cu	22,9ppm	6,2ppm	3,2ppm	5,6ppm
Chrom - Cr	0,2ppm	0ppm	0ppm	0ppm
Cín - Sn	< 3,0ppm	< 3,0ppm	< 3,0ppm	< 3,0ppm
Křemík - Si	< 1,0ppm	< 1,0ppm	< 1,0ppm	< 1,0ppm
Olovo - Pb	5,8ppm	2,0ppm	< 0,1ppm	0,7ppm
Nikl - Ni	2,2ppm	2,2ppm	1,9ppm	2,1ppm
Mangan - Mn	3,3ppm	4,1ppm	2,7ppm	3,7ppm

Podle výsledků rentgenové spektrometrie se ve vzorcích použitého převodového oleje nachází velké množství železa. Mohlo by se jednat i o prachové částice z obrábění, jelikož je několik obráběcích strojů umístěno asi 3 metry vedle diagnostikovaného lisu. V hale je rovněž několik svařovacích stanovišť, odkud se může železo dostat do ovzduší. Mazací okruh nemusí být úplně těsný a nádrž nemůže být kvůli konstrukčnímu provedení lisu úplně zakrytovaná, nemyslím si ale, že by prach tvořil většinu z otěrových částic, ty by se v tomto množství z okolí do mazacího okruhu nedostaly a navíc podle mých pozorování během měření není prostředí výrobních hal společnosti extrémně prašné. Většina železa se v tomto případě s největší pravděpodobností dostala do nádrže jako otěrový kov z převodovky.

Ve vzorku převodového oleje odebraného 15. 1. se našlo i zvýšené množství mědi a malé množství olova. Tyto otěrové kovy by mohly pocházet z ojnicích ložisek, neboť dle poskytnutých informací jsou tato ložiska z bronzu, který je tvořen převážně mědí, ale i cínem a v malém množství i olovem.

Tabulka 5-9 Výsledky rentgenové spektrometrie: aditiva

Aditivum	Mobilgear 600 XP 68 vzorek 15. 1. 18 (3 měsíce v provozu)	Mobilgear 600 XP 68 vzorek 25. 4. 18 (2 měsíce v provozu)	Mobilgear 600 XP 68 referenční	Hydraulický olej Lotos HM 46
Síra - S	10520ppm	11380ppm	11110ppm	12230ppm
Fosfor - P	569,1ppm	631,5ppm	586,1ppm	931,6ppm
Zinek - Zn	281,9ppm	128,1ppm	2,2ppm	596,5ppm
Tantal - Ta	13,2ppm	17,7ppm	16,4ppm	16,5ppm
Vápník - Ca	< 10ppm	< 10ppm	< 10ppm	< 10ppm
Kobalt - Co	13,2ppm	15,4ppm	15,1ppm	16,3ppm
Sodík - Na	< 1005ppm	< 1005ppm	< 1005ppm	< 1005ppm

Ve vzorcích použitého převodového oleje se nachází množství zinku, které bych obvykle považoval za aditivum, ale jelikož referenční vzorek téměř žádný zinek neobsahoval, může jít o otěrový kov z některých částí převodovky. Nebo také aditivum, které se dostalo do okruhu po vniknutí hydraulického oleje. K hydraulickému oleji bohužel nemám referenční vzorek pro srovnání, takže původ zinku nemohu hodnotit, ale nejspíše zde půjde o aditivum.



Obr. 5-14 Rentgenový spektrometr SPECTRO XEPOS

5.3.7 Spektrální analýza

Byla využita infračervená spektrofotometrie s Fourierovou transformací (FTIR). Tato metoda slouží pro identifikaci organických i anorganických sloučenin.

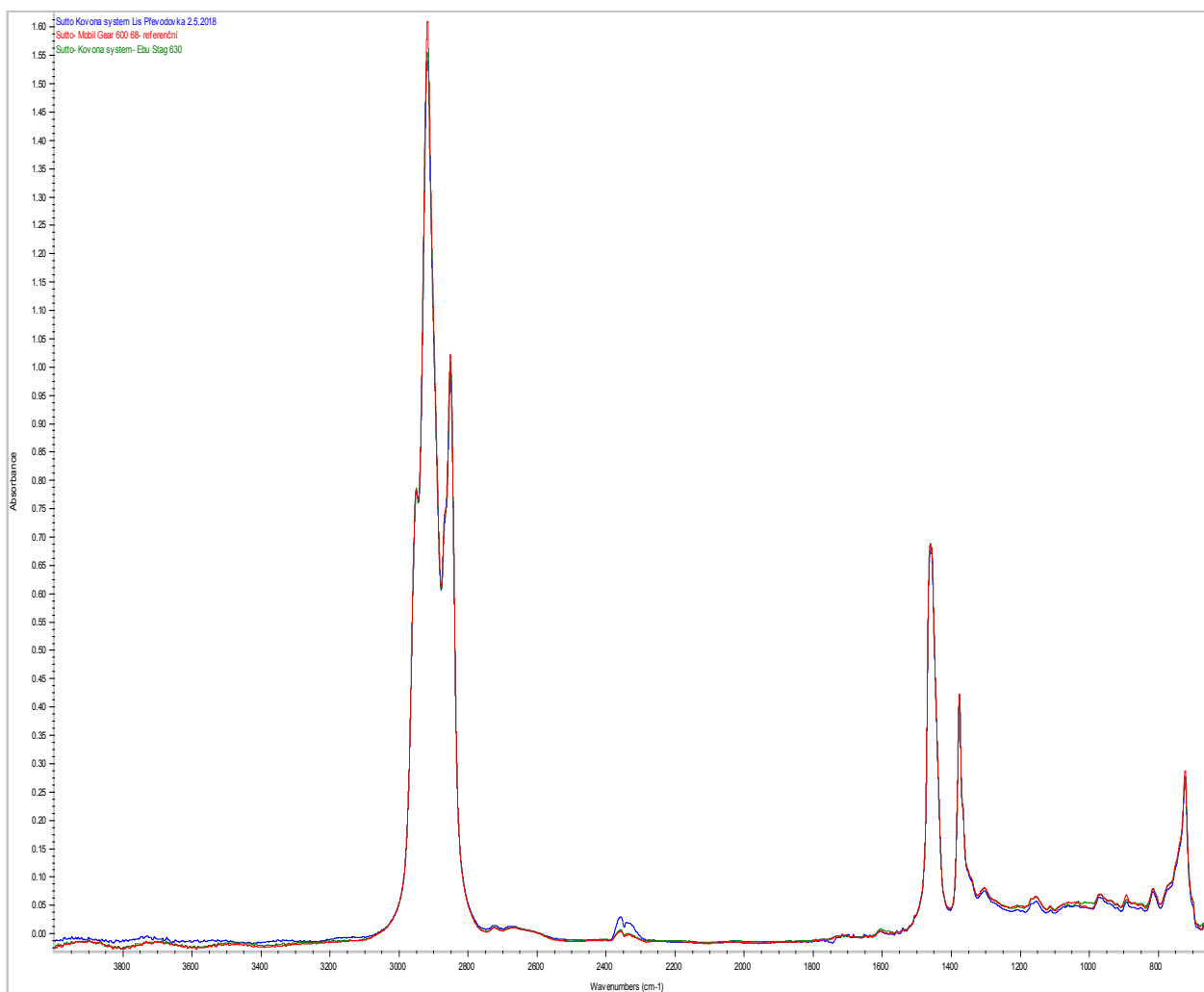
Postup měření:

Tenká vrstva homogenizovaného oleje se umístí na krystal selenidu zinečnatého. Následně se tento vzorek umístí do přístroje. Poté je vzorek prozářen infračerveným zářením pomocí laseru, což způsobuje interakci IR záření s molekulami nebo skupinami molekul zkoušeného vzorku. To způsobuje vybuzení molekul na vyšší vibrační hladiny. Dochází k pohlcení záření s určitou velikostí energie a ve spektru vznikají tzv. vibrační absorpční pásy, pomocí kterých je možné identifikovat většina sloučenin. Výstupem je graf ve frekvenčním spektru, kde se nejčastěji porovnávají odchylky zkoumaného a referenčního vzorku kapaliny.



Obr. 5-15 Infračervený spektrometr

Výsledky měření



Obr. 5-16 Spektrální analýza: referenční vzorek a 2 použité vzorky převodové oleje

Spektrální analýza neukazuje žádné zásadní změny v klíčových pásmech. Pouze drobné změny v pásmu aditiv

6 Aplikace Vibrodiagnostiky

6.1 Záznam Vibrací

Provedl jsem dvě měření vibrací, první z nich 15. 1. 2018, druhé 25. 4. 2018. V prvním případě jsem zvolil dvě měřicí místa na pravém i levém elektromotoru, dvě měřicí místa na planetové převodovce a změřil jsem vibrace u dvou ojnicích ložisek. Zbývající dvě z celkového počtu čtyř ojnicích ložisek byly špatně přístupné pod výsuvným poklopem lisu, který je spolu s ojnicemi zakrývá. Z důvodu bezpečnosti jsem vibrace na těchto ložiscích neměřil.

Při druhém měření jsem zvolil k původním měřicím místům na obou elektromotorech měřicí místo navíc a na planetové převodovce 2 měřicí místa navíc. Hodnoty vibrací ojnicích ložisek byly měřeny na totožných místech jako při prvním měření

V každém měřicím místě jsem umístil magnetické snímače vibrací (akcelerometry) v horizontálním, vertikálním a axiálním směru. Snímače byly připojeny k analyzátoru vibrací A4410 VA4 Pro od společnosti Adash. Měření probíhalo v obou případech během zátěže v pracovním cyklu 26 zdvihů za minutu, v obou případech se vyráběly stejné výrobky pomocí stejné lisovací síly.



Obr. 6-1 Analyzátor vibrací (ilustrační obrázek) [9]

6.2 Analýza vibrací

Záznamy vibrací jsem po naměření překopíroval z analyzátoru do pc, kde jsem je dále analyzoval s pomocí programu A4410 Virtual Unit, hodnoty vibrací jsem zaznamenal do tabulky a do své práce jsem vložil i některé časové průběhy a frekvenční spektra vibrací. Hodnoty vibrací uvedené v tabulkách níže odpovídají 8 [s] časování.



Obr. 6-2 Pracovní prostředí Vitruual Unit

Mezní hodnoty vibrací:

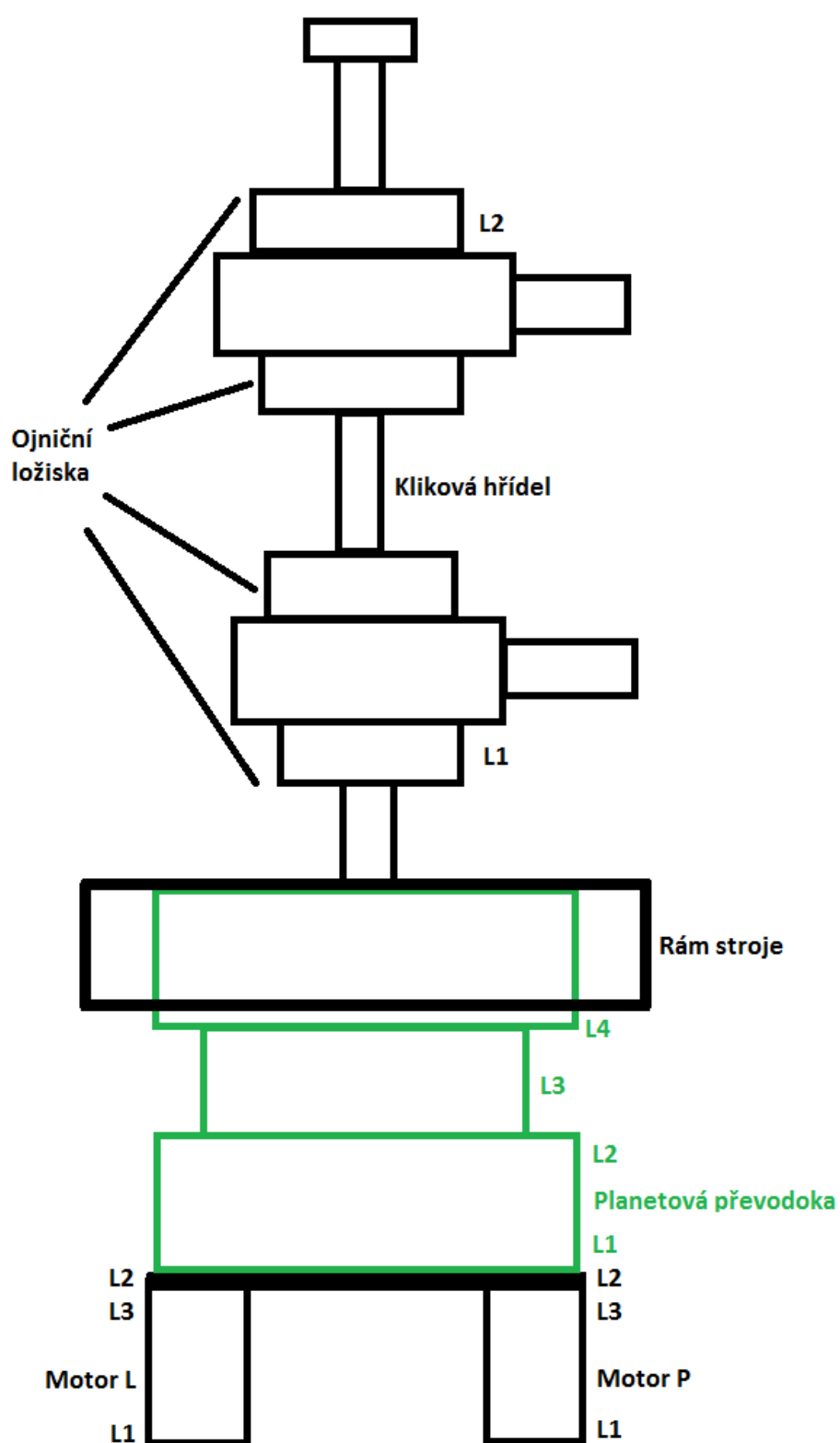
Mezní hodnoty vibrací stanovují dle normy ČSN ISO 10816-3 pro velké stroje 1. skupiny

Tabulka 6-1 Mezní efektivní hodnoty rychlosti vibrací

Hranice pásma	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]
A/B	2,3
B/C	4,5
C/D	7,1

Hodnoty zrychlení vibrací norma nestanovuje, naměřené hodnoty byly ve všech případech nižší než 1 [g], které se dá považovat za hraniční hodnotu B/C pásma.

6.3 Schéma měřicích míst



Obr. 6-3 Schéma měřicích míst

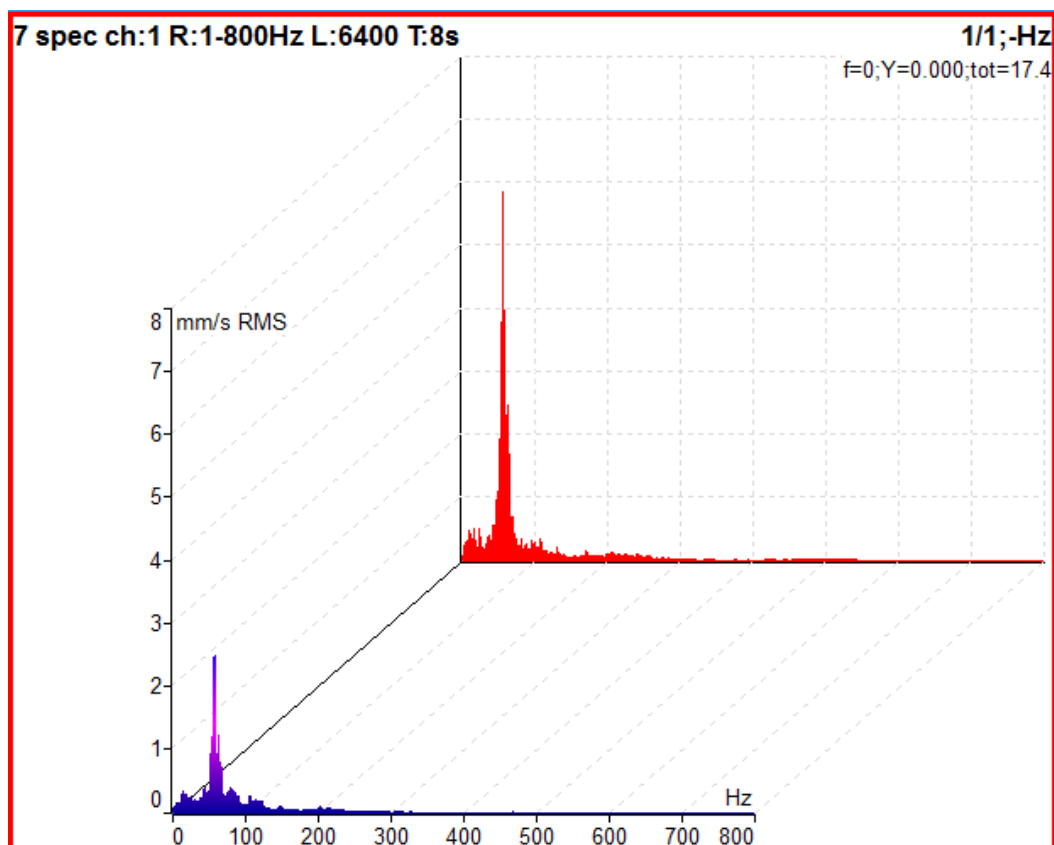
6.4 Právý elektromotor



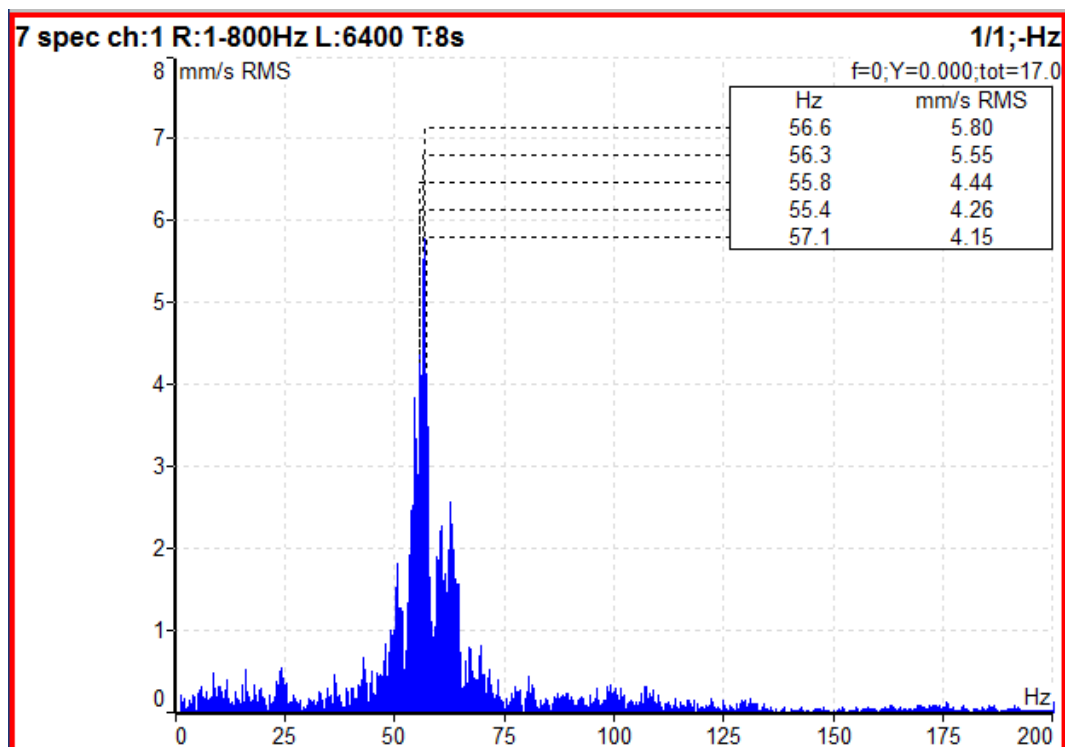
Obr. 6-4 Měřicí místa na pravém elektromotoru

Tabulka 6-2 Naměřené hodnoty vibrací na pravém elektromotoru

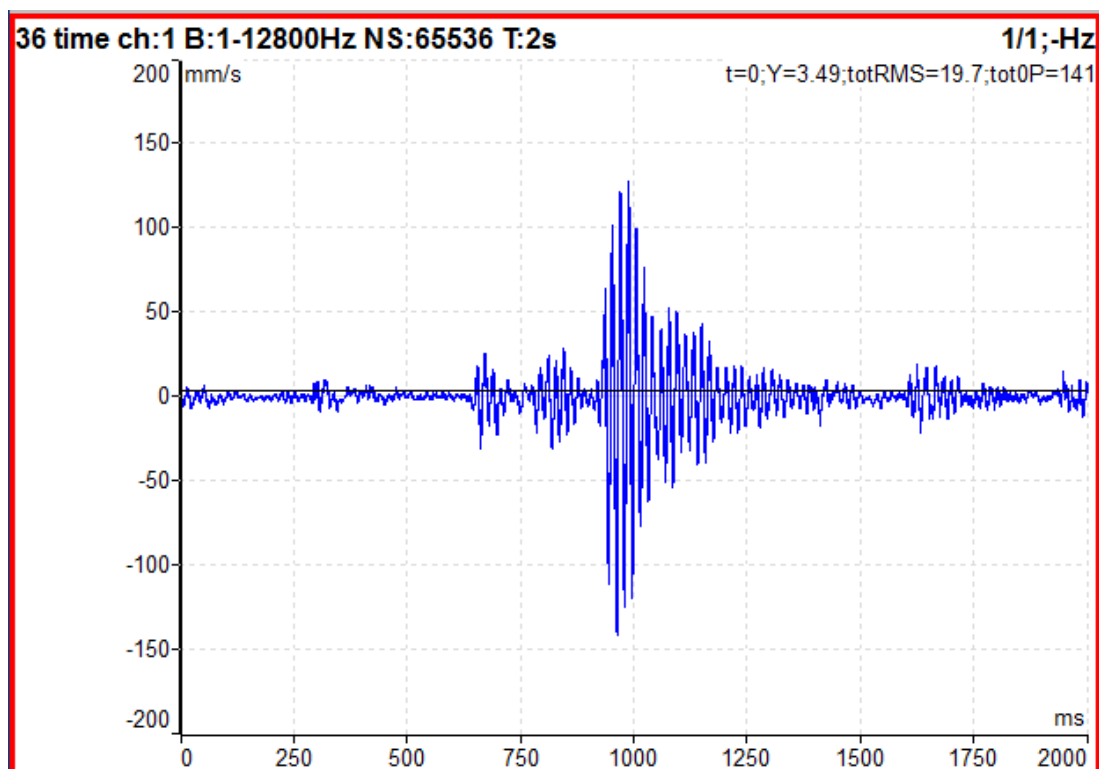
Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})						
Popis		Měření 15. 1. 18		Měření 25. 4. 18		
Měřicí místo		L1	L2	L1	L2	L3
Veličina	Směr					
ot/min		26		26		
v_{RMS} [mm/s]	H ch2	2,86	0,89	4,91	1,35	1,65
	V ch1	8,34	2,86	18,6	5,22	5,79
	A ch3	2,05	2,29	2,72	3,31	3,00
a_{RMS} [g]	H ch2	0,33	0,21	0,32	0,27	0,48
	V ch1	0,29	0,22	0,33	0,31	0,72
	A ch3	0,57	0,37	0,49	0,54	0,53
Pozn.		Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu



Obr. 6-5 Srovnání frekvenčního spektra rychlosti vibrací v místě L1, 1. měření
vepředu, poslední vzadu (vertikální směr)



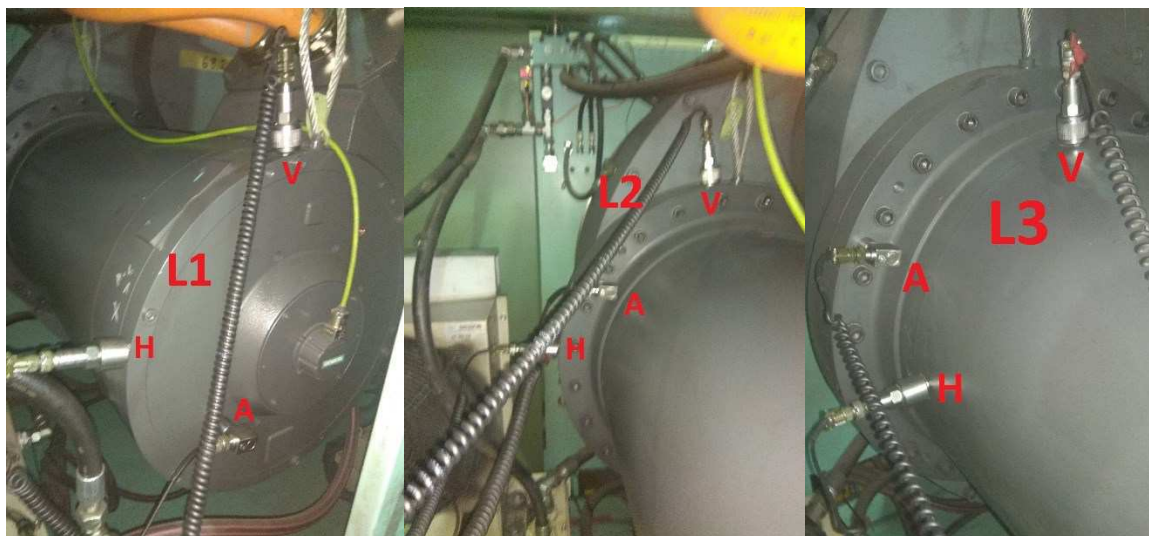
Obr. 6-6 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací v místě L1, 2. měření (vertikální
směr)



Obr. 6-7 Časový záznam rychlosti vibrací v místě L1 při 2. měření (vertikální směr)

V tabulce můžeme vidět vysoké efektivní hodnoty rychlosti vibrací ve vertikálním směru na měřicím místě L1 (volný konec motoru). Tyto hodnoty byly vysoké už při prvním měření, při posledním měření ještě více vzrostly, stejně tak vzrostly i ostatní hodnoty vibrací. Je možné, že došlo k uvolnění motoru, které se postupně zhoršuje, což způsobuje jeho kmitání ve vertikálním směru během rázů způsobených lisováním. Doporučuji zkontrolovat utažení šroubů motorů. Pokud jsou šrouby utažené, zvážil bych podepření motoru, protože takto vysoké kmitání se přenáší dále na stroj a může ovlivnit další části lisu, hlavně planetovou převodovku.

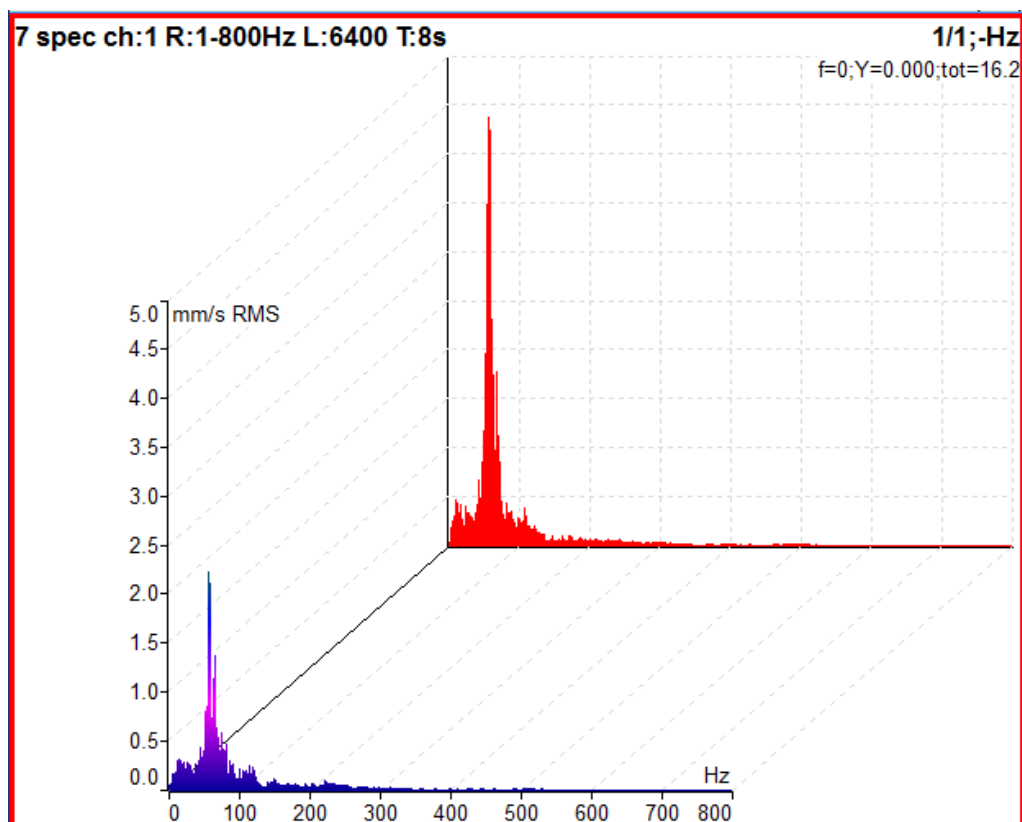
6.5 Levý elektromotor



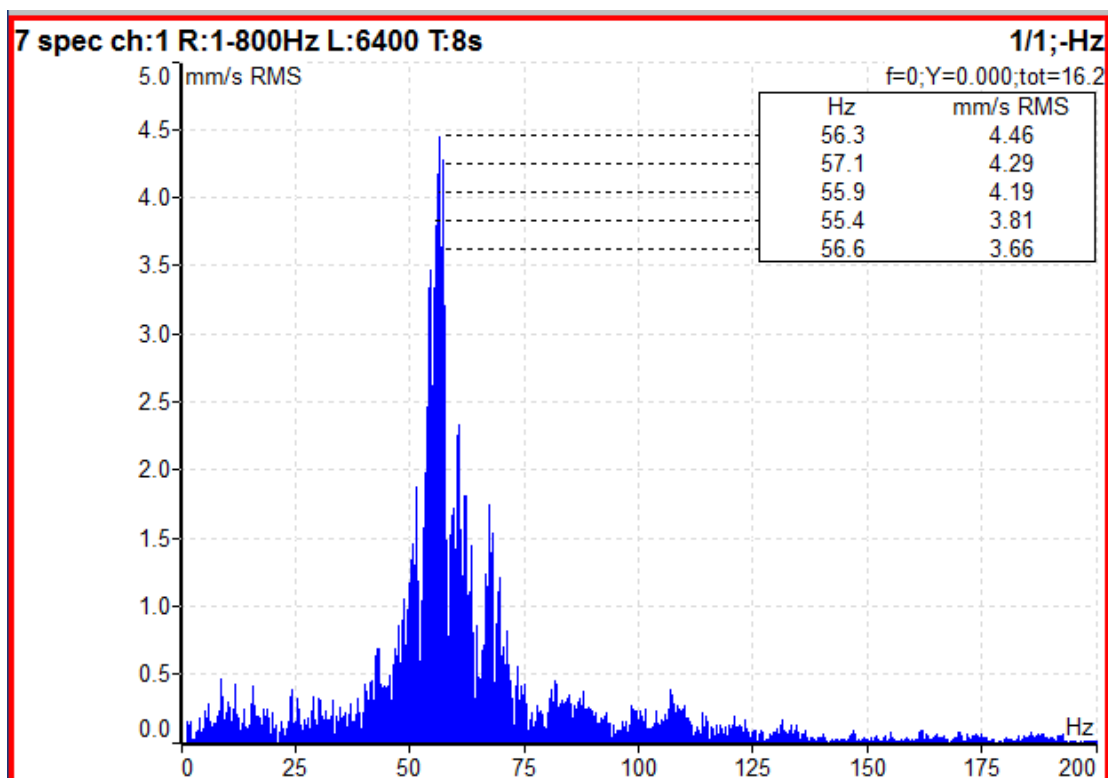
Obr. 6-8 Měřicí místa na levém elektromotoru

Tabulka 6-3 Naměřené hodnoty vibrací na levém elektromotoru

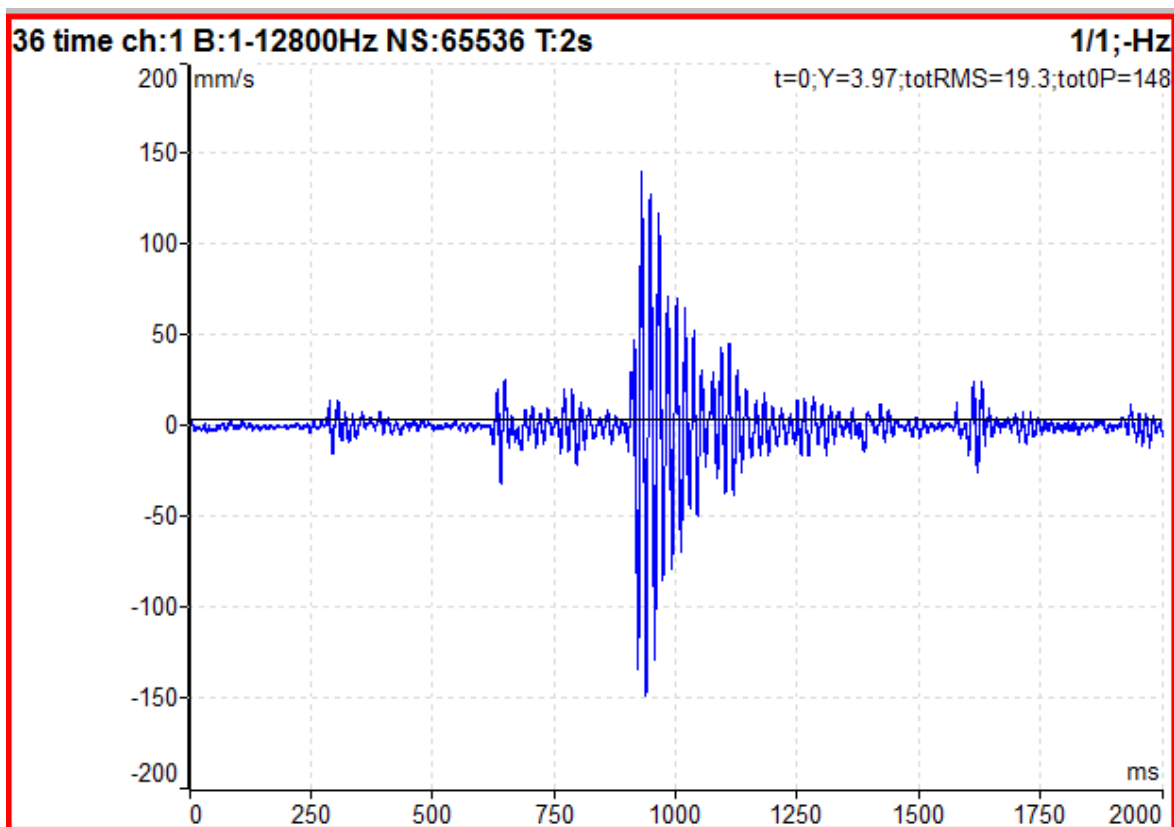
Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})						
Popis		Měření 15. 1. 18		Měření 25. 4. 18		
Měřicí místo		L1	L2	L1	L2	L3
Veličina	Směr					
ot/min		26		26		
v_{RMS} [mm/s]	H ch2	3,78	1,06	6,11	1,68	1,80
	V ch1	8,68	2,45	14,7	4,59	5,34
	A ch3	2,19	2,47	2,74	3,66	3,20
a_{RMS} [g]	H ch2	0,22	0,18	0,40	0,20	0,59
	V ch1	0,28	0,25	0,38	0,36	0,71
	A ch3	0,45	0,32	0,44	0,49	0,48
Pozn.		Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu



Obr. 6-9 Srovnání frekvenčního spektra rychlosti vibrací v místě L1, 1. měření
vepředu, poslední vzadu (vertikální směr)



Obr. 6-10 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací v místě L1, 2. měření (vertikální
směr)

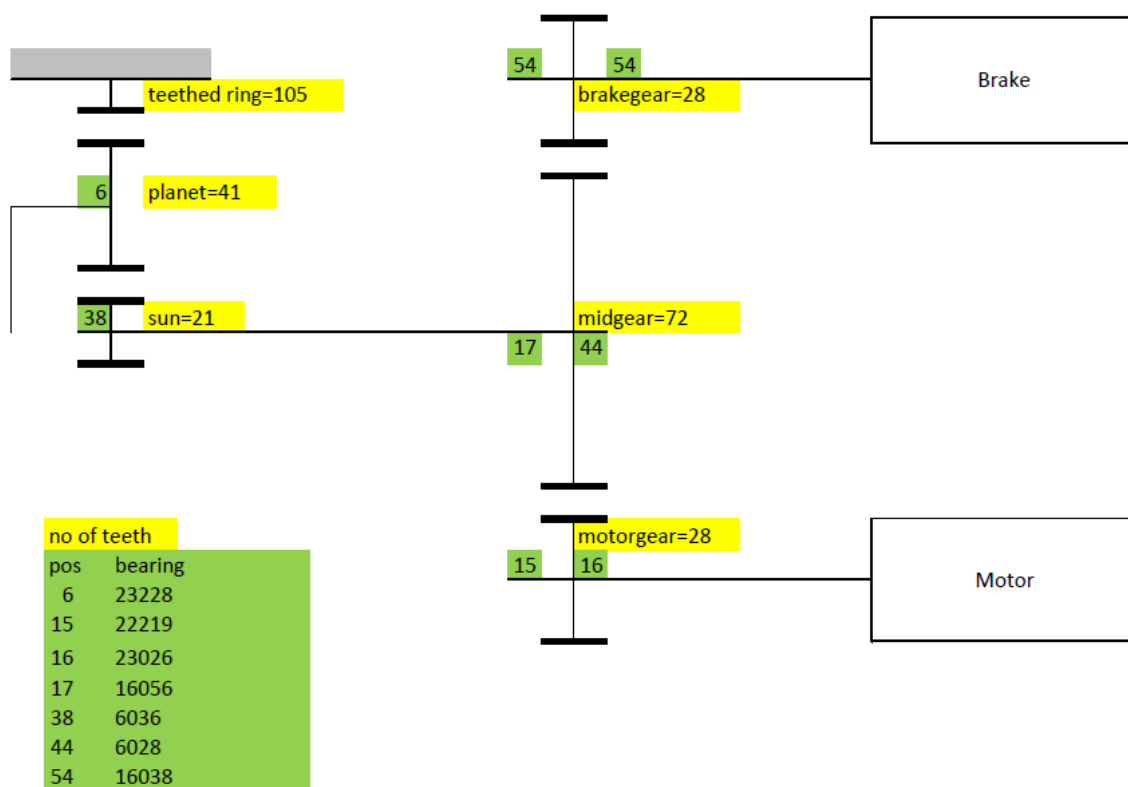


Obr. 6-11 Časový záznam rychlosti vibrací v místě L1 při 2. měření (vertikální směr)

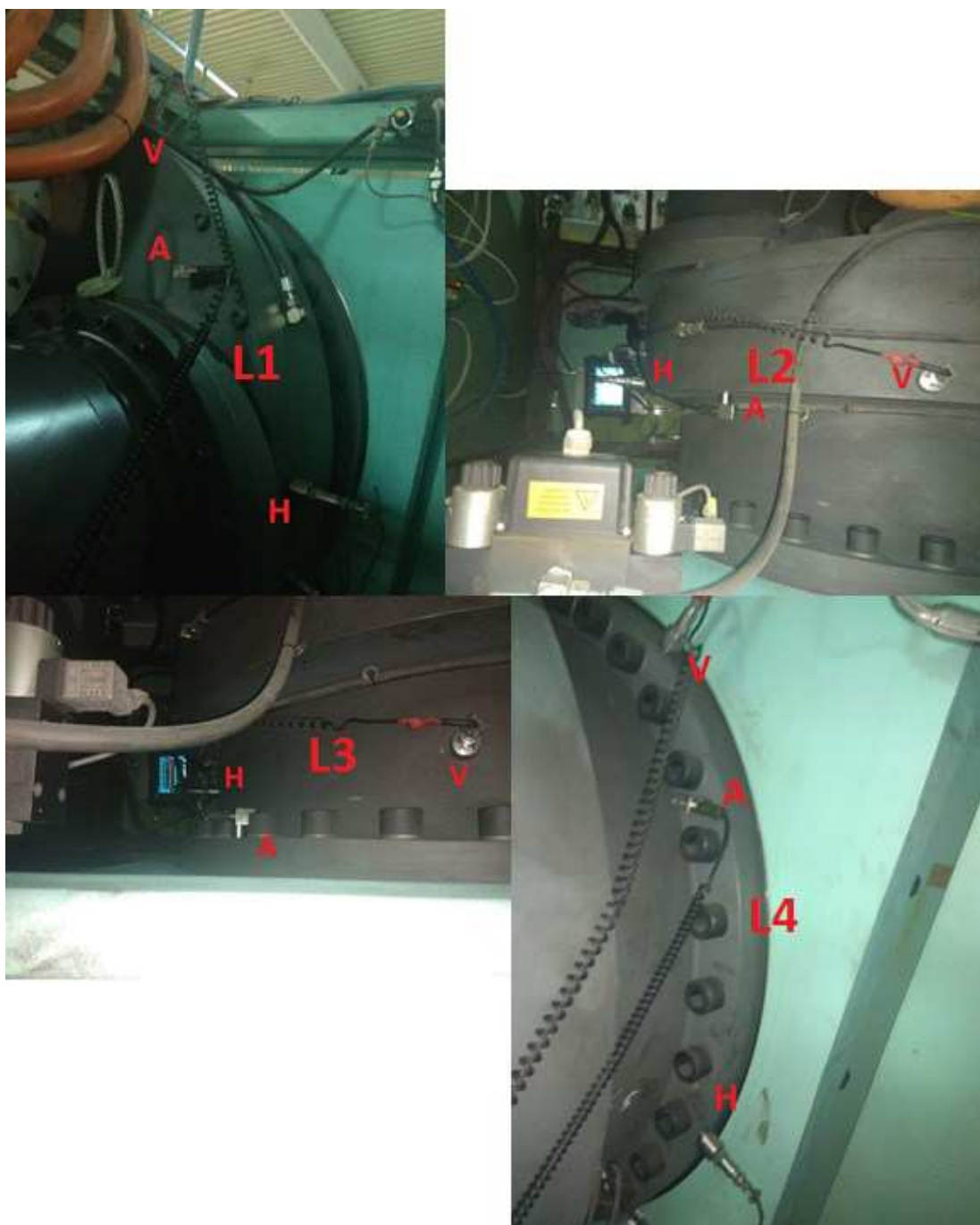
Při hodnocení vibrací na levém elektromotoru platí to samé jak na pravém. Opět můžeme vidět vysoké efektivní hodnoty rychlosti vibrací ve vertikálním směru na měřicím místě L1 (volný konec motoru). Při posledním měření ještě více vzrostly, stejně tak vzrostly i ostatní hodnoty vibrací. Je možné, že došlo k uvolnění motoru, které se postupně zhoršuje, což způsobuje jeho kmitání ve vertikálním směru během rázů způsobených lisováním. Doporučil bych zkontrolovat, zda jsou šrouby k uchycení motorů dotaženy a případně bych uvažoval o podepření motoru.

6.6 Planetová převodovka

Tuto planetovou převodovku tvoří vlastně 2 soukolí. Moment se přenáší z ozubených kol motorů na centrální ozubené kolo. A přes hřídel na další ozubení, které tvoří další centrální ozubené kolo, 3 satelity a korunové kolo.



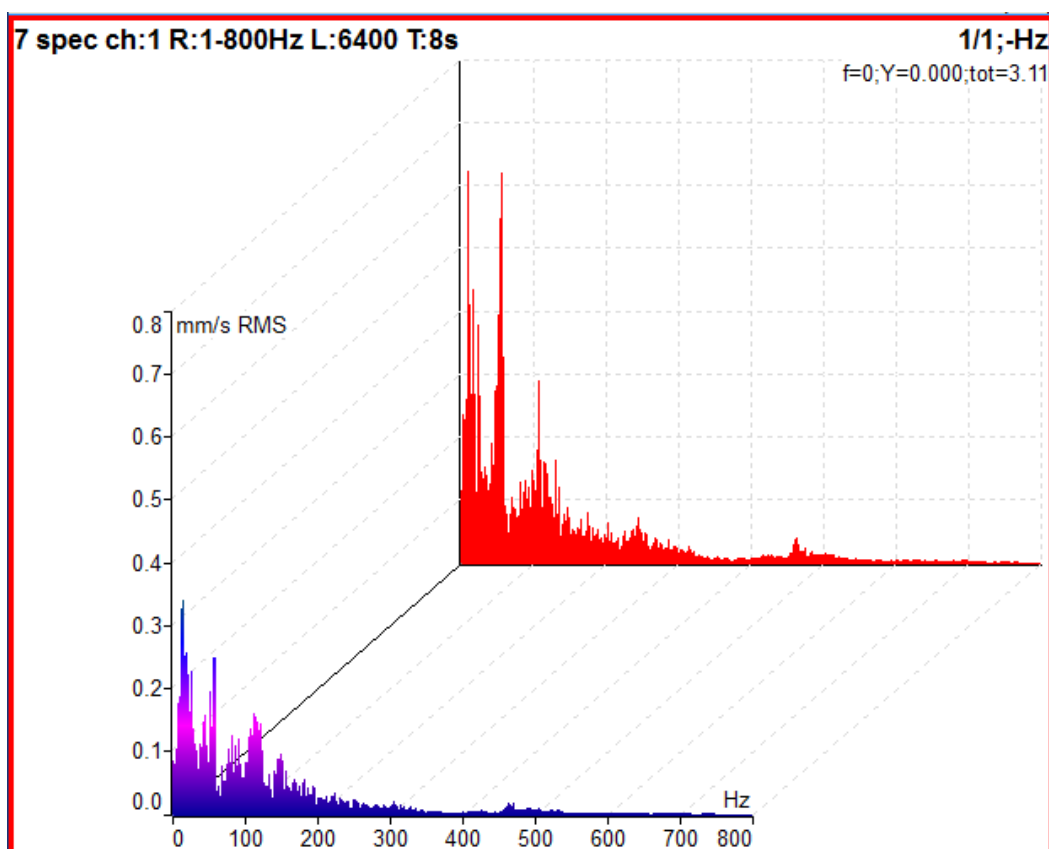
Obr. 6-12 Schéma planetové převodovky



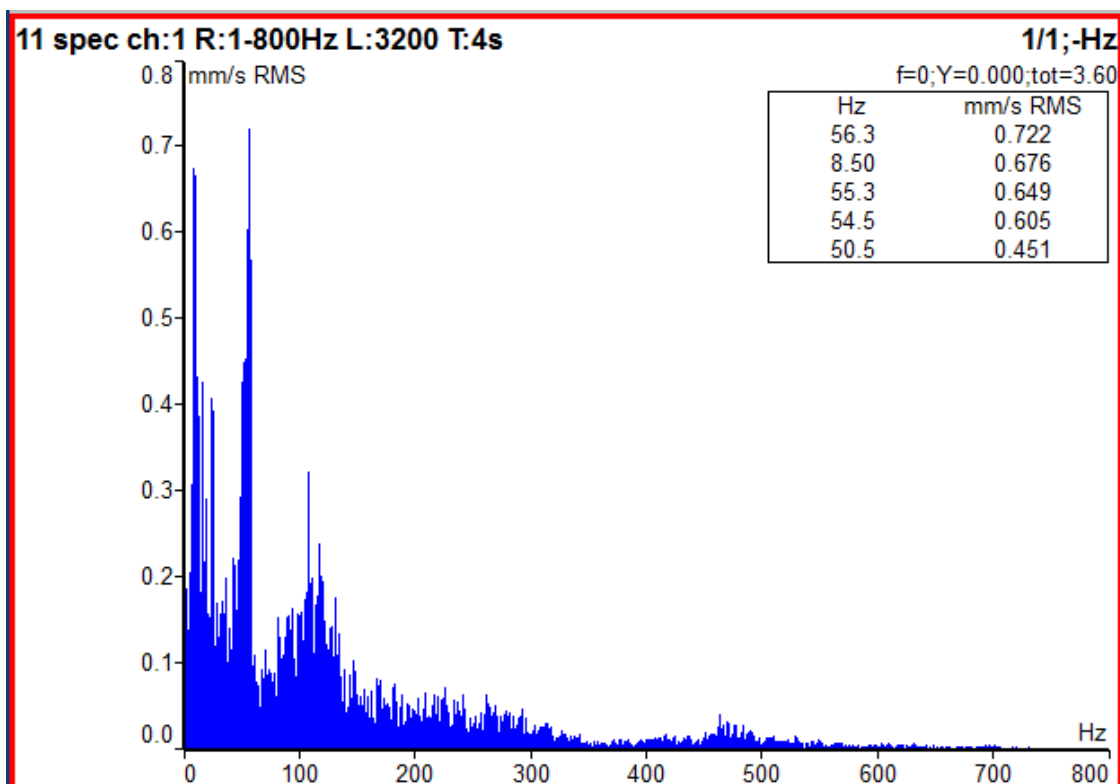
Obr. 6-13 Měřicí místa na planetové převodovce

Tabulka 6-4 Naměřené hodnoty vibrací na planetové převodovce

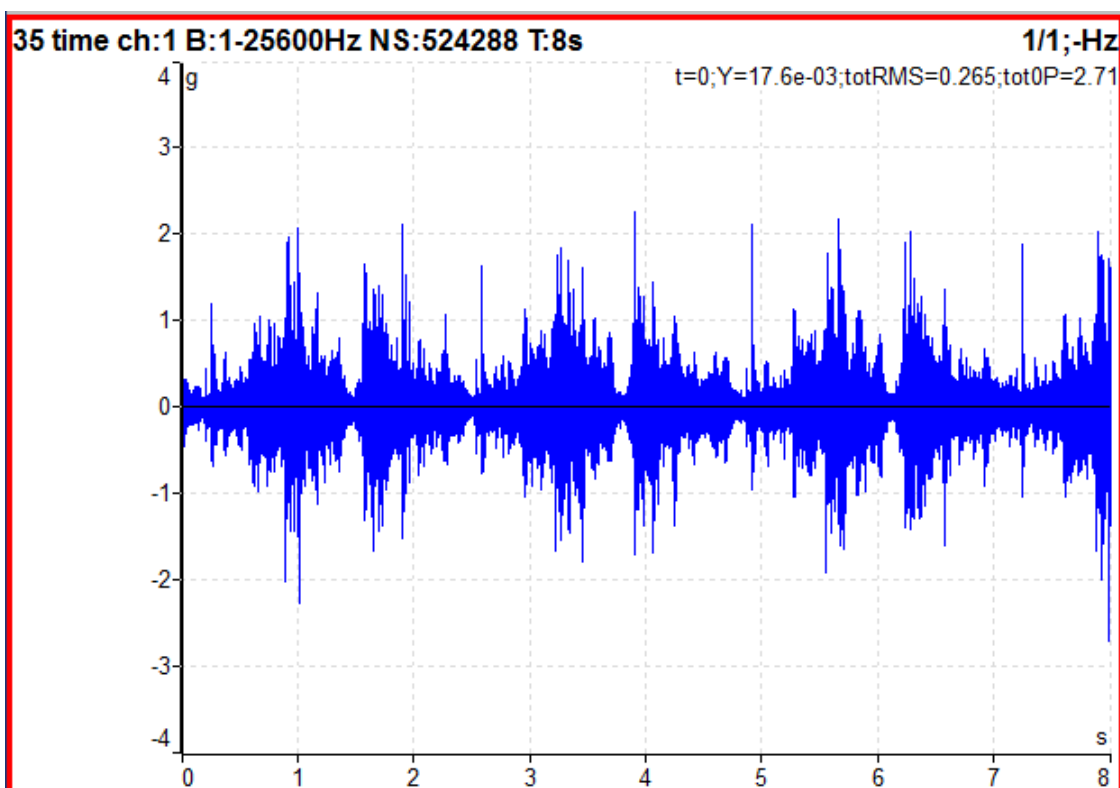
Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})							
Popis		Měření 15. 1. 18		Měření 25. 4. 18			
Měřicí místo		L1	L2	L1	L2	L3	L4
Veličina	Směr						
ot/min		26		26			
v_{RMS} [mm/s]	H ch2	0,77	0,86	1,21	1,10	1,09	1,19
	V ch1	2,03	1,87	2,99	2,59	2,47	2,21
	A ch3	1,67	1,53	3,33	2,75	2,34	2,11
a_{RMS} [g]	H ch2	0,44	0,16	0,49	0,35	0,20	0,15
	V ch1	0,33	0,19	0,28	0,32	0,22	0,19
	A ch3	0,32	0,17	0,35	0,37	0,35	0,22
Pozn.		Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu



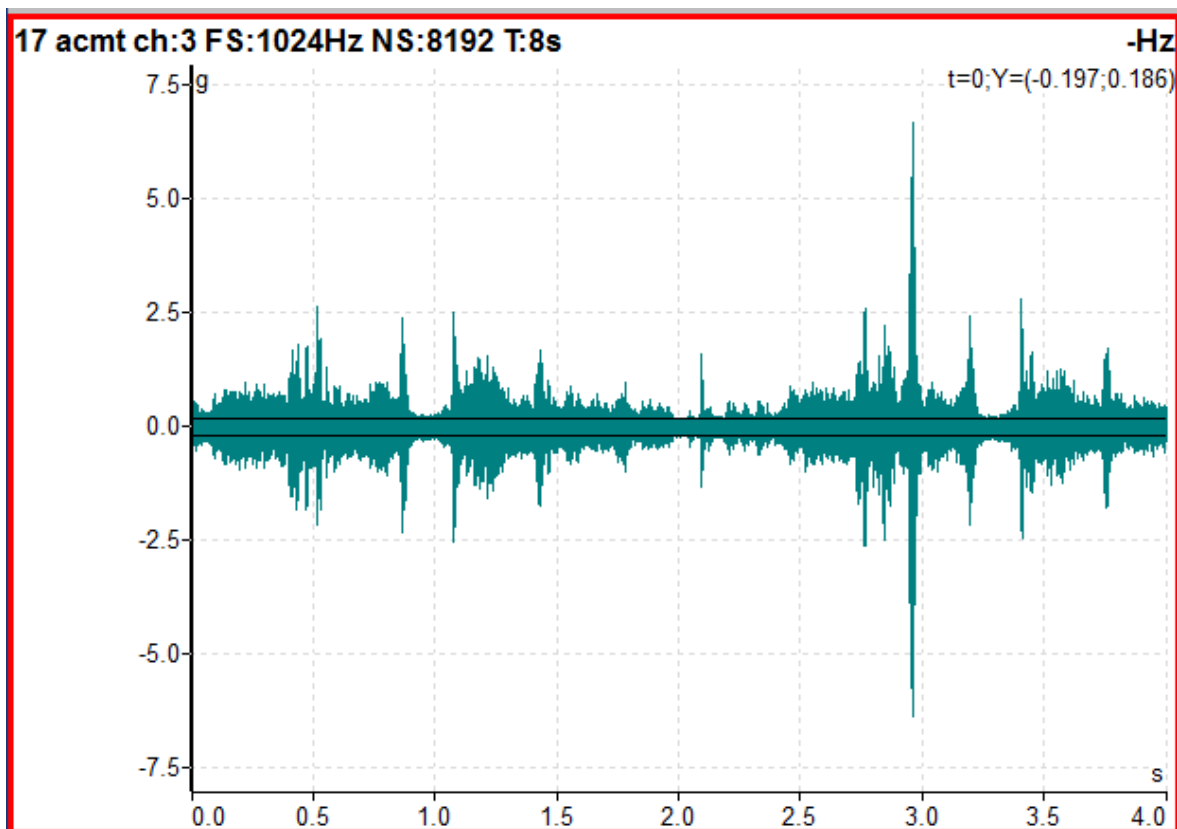
Obr. 6-14 Srovnání frekvenčního spektra rychlosti vibrací v místě L1, 1. měření vpředu, poslední vzadu (vertikální směr)



Obr. 6-15 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací v místě L1, 2. měření (vertikální směr)



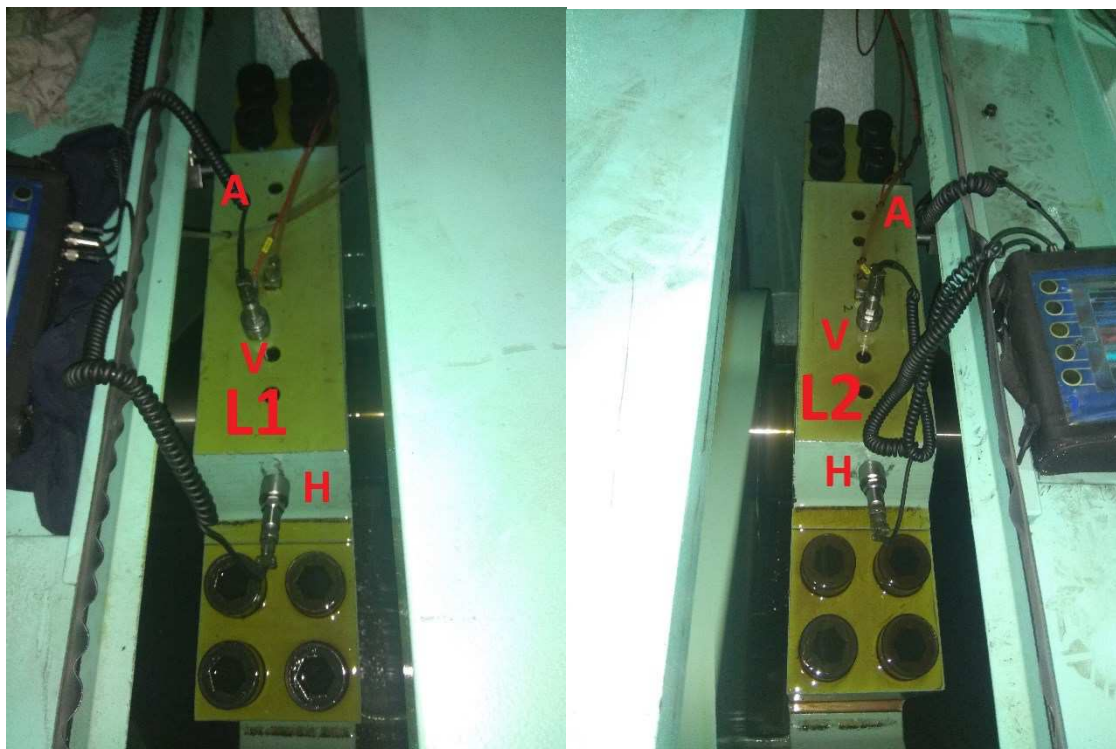
Obr. 6-16 Časový záznam zrychlení vibrací, měřicí místo L3, 2. měření (vertikální směr)



Obr. 6-17 Časový záznam zrychlení vibrací, měřící místo L3, 2. měření (axiální směr)

Hodnoty vibrací planetové převodovky nebyly nijak velké, ale přesto je vidět při druhém měření nárůst proti prvnímu měření. Nárůst by mohl být způsobený přenášením kmitání elektromotorů, vzhledem k tomu, že na místech blíže k motorům byly obecně naměřeny vyšší vibrace. V časovém průběhu zrychlení vibrací jsou vidět mimo hlavních špiček, které způsobují rázy i menší špičky, které by mohly značit opotřebení zubů, ke kterému zde podle mého názoru i dle rozboru převodového oleje dochází.

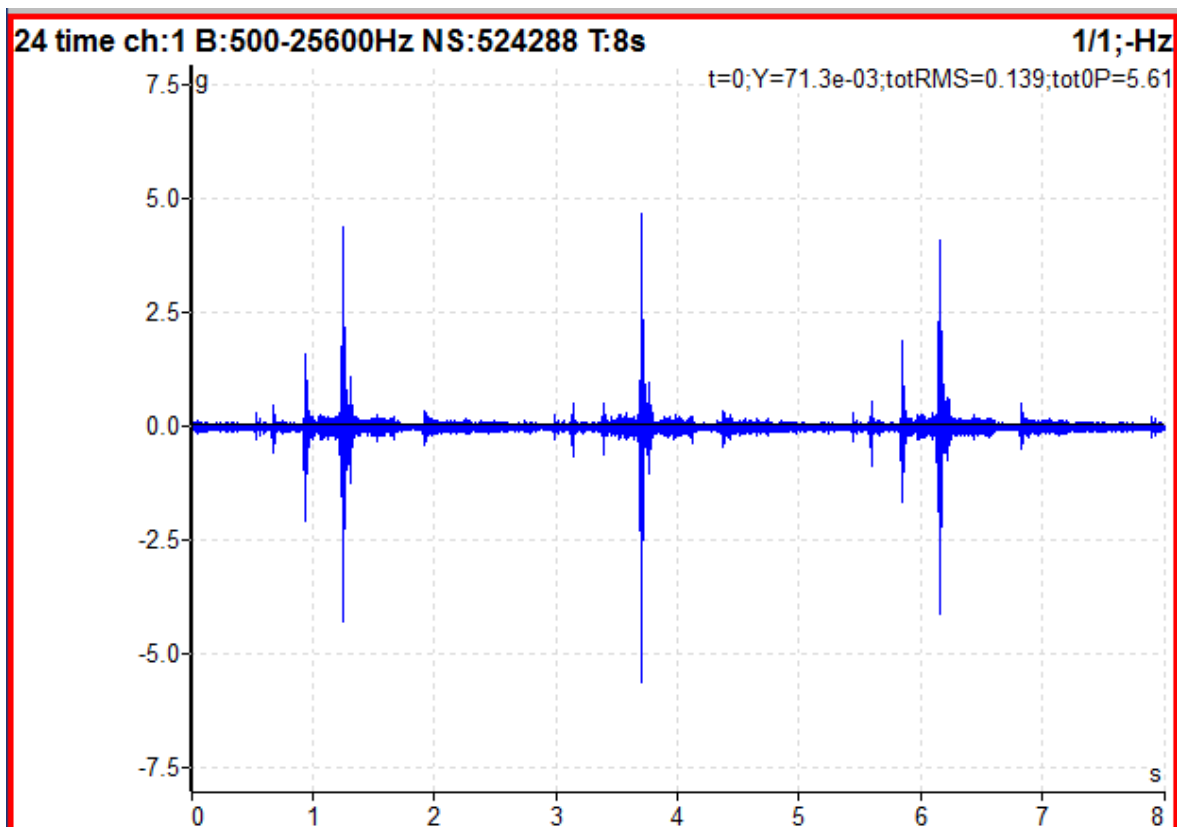
6.7 Ojniční ložiska



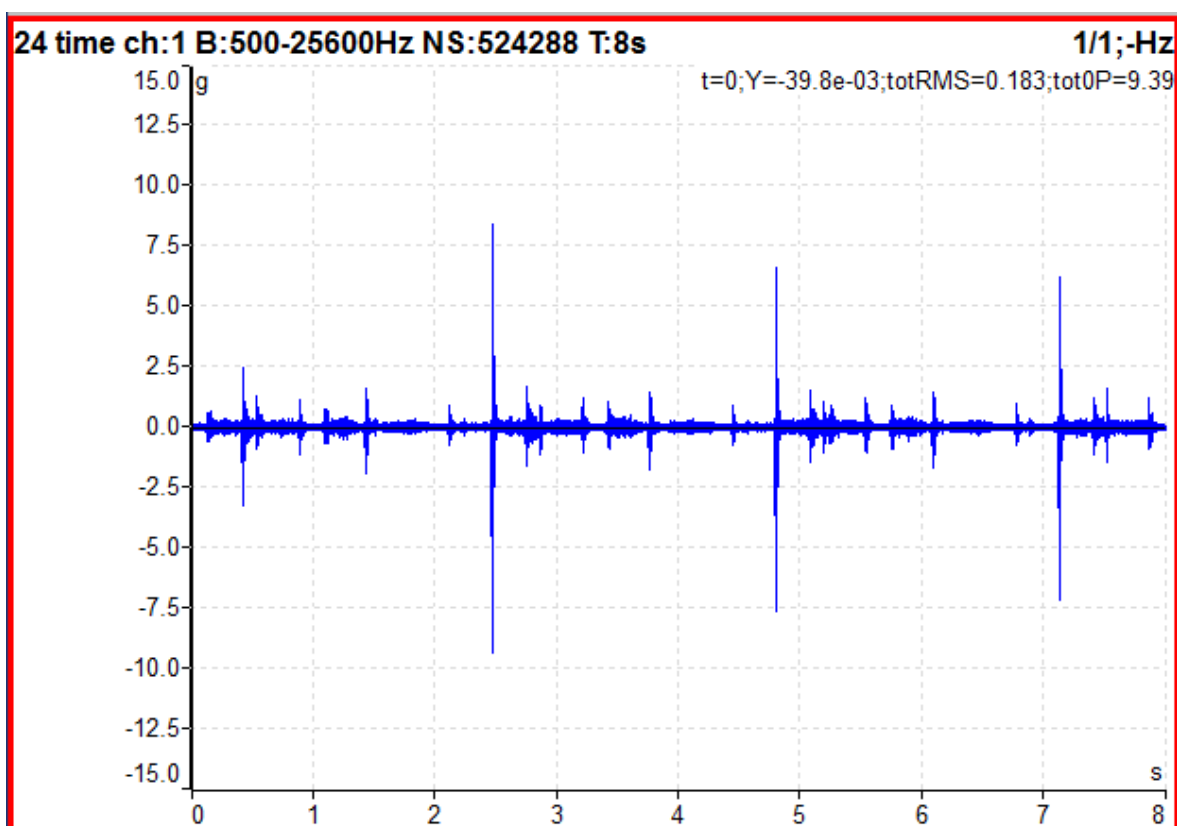
Obr. 6-18 Měřicí místa na ojnicích ložiskách

Tabulka 6-5 Naměřené hodnoty vibrací na ojnicích ložiskách

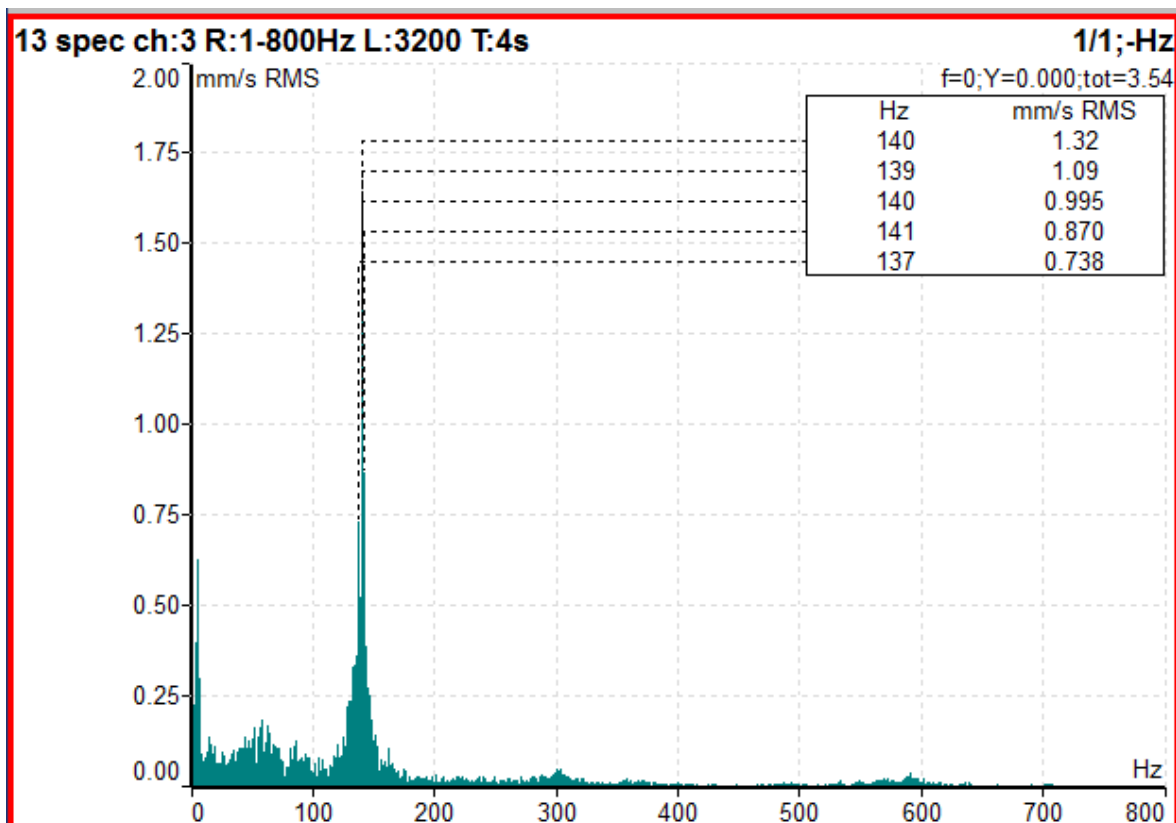
Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 1-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})					
Popis		Měření 15. 1. 18		Měření 25. 4. 18	
Měřicí místo		L1	L2	L1	L2
Veličina	Směr				
ot/min		26		26	
v_{RMS} [mm/s]	H ch2	1,05	0,98	1,43	1,61
	V ch1	1,72	1,86	2,33	2,90
	A ch3	4,66	2,29	4,48	2,74
a_{RMS} [g]	H ch2	0,09	0,04	0,12	0,08
	V ch1	0,12	0,04	0,13	0,07
	A ch3	0,25	0,15	0,25	0,17
Pozn.		Během provozu	Během provozu	Během provozu	Během provozu



Obr. 6-19 Časový záznam zrychlení vibrací, ložisko L1, 1. měření (vertikální směr)



Obr. 6-20 Časový záznam zrychlení vibrací, ložisko L1, 2. měření (vertikální směr)



Obr. 6-21 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací, ložisko L1, axiální směr, 1. měření

Hodnoty rychlosti vibrací na ložisku L1 byly v axiálním směru při obou měřeních mírně zvýšené. Hodnoty vibrací byly celkově na ložisku L1 vyšší než na ložisku L2. Je možné že toto ložisko zachytí ještě nějaké zbytkové kmitání od elektromotorů a přenáší i vyšší rázy. Ojnice u tohoto ložiska se měnila a hřídel, uložená na tomto ložisku se opracovávala. Je možné že i tento fakt zapříčiňuje vyšší hodnoty vibrací v místě L1. V časovém spektru zrychlení vibrací je vidět mimo velkých špiček, které jsou způsobeny rázy i několik menších opakujících se špiček, které můžou být způsobeny vytlačením olejového filmu a kontaktem mezi třecími pouzdry.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo posoudit stav čistoty provozních kapalin klikového lisu. Dalším cílem bylo posouzení technického stavu lisu a to jak z tribodiagnostických rozborů provozních kapalin, tak i z hlediska vibrodiagnostiky.

Provedl jsem celkem 2 odběry vzorků převodového oleje v rozestupu 3 měsíců a oděr jednoho vzorku hydraulické oleje. V laboratoři jsem provedl několik zkoušek, dle nichž u převodového oleje poklesla viskozita, což může způsobovat ztrátu mazacího filmu a zvýšení tvorby otěru vlivem přímého kontaktu kovových částí při vzájemném pohybu. Příčinou nárůstu viskozity může být vnikání hydraulického oleje, který má nižší viskozitu, do nádrže s převodovým olejem z vadného těsnění, doporučil bych proto opravu těsnění. Pokles viskozity ovšem může být způsoben i degradací některých aditiv. Podle zkoušek čísla kyselosti a obsahu vody byly vzorky z tohoto ohledu v pořádku.

Z hlediska kódu čistoty byl referenční převodový olej více znečištěný než vzorky použitých převodových olejů. Problém může být ve skladování nebo distribuci oleje. Ve vzorcích použitého převodového oleje se ovšem našlo mnoho drobných částic o velikosti kolem 1 μm , které způsobují celkový kalný vzhled olejů, podle výsledků z rentgenu, obsahovaly vzorky vysoké množství železa a zinku, vzhledem tomu že mazaná kluzná ložiska jsou z bronzu, se tento otěr dostává do oleje z největší pravděpodobností z předovky. Do oleje se dostává také malé množství otěru z bronzových ložisek, jelikož hlavně první vzorek, který byl o něco déle v provozu, obsahoval mnohem více mědi, než referenční vzorek. Měď je totiž hlavní složkou bronzu. Další příčinou znečištění oleje může být i tepelná či chemická degradace převodového oleje, která se projevuje tvorbou kalů, které šlo také pod mikroskopem pozorovat. Doporučil bych při další výměně zvolit jiný převodový olej, který může obsahovat kvalitnější aditiva a posoudit zda se nesníží rychlost jeho znečištění. Rozbory hydraulického oleje nebyly původně plánovány, ale provedl jsem i jeho rozbor abych posoudil, do jaké míry jsou pokles viskozity a změny v aditivech způsobeny vnikáním tohoto oleje přes vadné těsnění. Tento olej obsahuje výrazně více zinku a má také nižší viskozitu, takže zvyšování množství zinku v převodovém oleji a pokles jeho viskozity může vnikání hydraulického oleje prokazatelně způsobovat.

Vibrace byly zaznamenány během 2 měření, kdy první z nich proběhlo 15. 1. 2018, druhé 25. 4. 2018. Měřicí místa byla zvolena na elektromotorech, převodovce a 2 kluzných ojnicích ložiscích. Při druhém měření jsem zvolil na motorech a na převodovce měřicí místa navíc. V každém měřicím místě jsem umísil snímače ve 3 směrech. Obě měření probíhala ve stejném pracovním cyklu 26 zdvihů za minutu, při stejné lisovací síle.

Ze zaznamenaných výsledků vibrací vyplývá, že na obou elektromotorech byly vysoké hodnoty rychlosti vibrací a to hlavně ve vertikálním směru, ve špičkové hodnotě až 148 mm/s v době rázů, způsobených lisováním. Takto vysoké kmitání ve vertikálním směru může způsobovat uvolnění elektromotoru, které se mohlo během intervalu mezi měřeními zhoršit, jelikož v tomto intervalu obecně zaznamenané hodnoty vibrací rostly. Doporučil jsem zkontrolování utažení šroubů k uchycení motorů, případně jejich podepření, jelikož toto kmitání má špatný vliv i na převodovku a může způsobovat její opotřebení a tím pádem i již zmíněnou tvorbu otěru v převodovém oleji. Zaznamenané efektivní hodnoty rychlosti a zrychlení u převodovky a ložisek nebyly nějak vysokým, což je ale pochopitelné, jelikož klikový hřídel pracoval v režimu nízkých otáček 26 s^{-1} . Nicméně v časových záznamech zrychlení vibrací se nachází špičky, které mohou značit zvýšené opotřebení v oblasti třecích ploch.

Ze závěru vyplývá i doporučení zkontrolovat zda nejsou elektromotory pro pohon lisu uvolněné a případně je nějakým způsobem podepřít. Další doporučení je při příští výměně oleje zkusit zvolit jiný olej s kvalitnějšími aditivy a porovnat rychlost znečištění a zakalení oleje. Také bych doporučil opravu těsnění v hydraulickém obvodu, jelikož se hydraulický olej dostává do nádrže s převodovým olejem, což může být spolu s degradací oleje jedna s příčin poklesu viskozity za měsíc asi o 5 %, pokles viskozity může také přispět k tvorbě otěru. Dále může toto mísení olejů způsobovat i chemickou degradaci olejů, která se projevuje tvorbou kalů.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Blatovi Ph.D. za jeho trpělivost a rady při konzultacích a Ing. Davidu Šeděnkovi za jeho pomoc v laboratoři. Dále chci poděkovat panu Ing. Lukáši Adoltovi z firmy Kovona System a.s. za jeho vstřícnost a poskytnutí technických informací a materiálů a všem lidem z firmy, kteří mi umožnili provést měření vibrací a odběry provozních kapalin.

Použitá literatura

1. **Kovona System a. s.** Stránky společnosti Kovona Sytem a. s. *Web Kovona Sytem a. s.* [Online] Kovona Sytem a. s. [Citace: 2018. Květen 8.] <http://www.kovona.cz/uvod-40.html>.
2. **ebu Umformtechnik GmbH.** Stránky výrobce lisu ebu Umformtechnik GmbH. *Web ebu Umformtechnik GmbH.* [Online] ebu Umformtechnik GmbH. [Citace: 8. Květen 2018.] <http://www.ebu-umformtechnik.de/en/STA-G-split-design-punching-machine-for-forming-technology.htm>.
3. **Kovona System a. s.** Technické listy, manuály a schémata poskytnuté firmou Kovona System a. s.
4. **Blata, Jan a Juraszek, Janusz.** Metody technické diagnostiky. *Metody technické diagnostiky.* [Online] VŠB - TUO, 2013. [Citace: 6. Květen 2018.] <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/18-MetodyTechnickeDiagnostiky.pdf>.
5. **Helebrant, František a Ziegler, Jiří.** *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A SPOLEHLIVOST II.: VIBRODIAGNOSTIKA.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004.
6. **Helebrant, František, Ziegler, Jiří a Marasová, Daniela.** *TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA A SPOLEHLIVOST I.: TRIBODIAGNOSTIKA.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004.
7. **Blata, Jan.** Presentace vybavení technické diagnostiky. *interdiago.vsb.cz.* [Online] [Citace: 10. Květen 2018.] [http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/2-Prezentace-Blata-vybavení technické diagnostiky FS 65.pdf](http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/2-Prezentace-Blata-vybavení%20technické%20diagnostiky%20FS%2065.pdf).
8. **Diram s.r.o.** Stanovení třídy čistoty olejů: *diram.cz.* *Web diram.cz.* [Online] [Citace: 2018. Květen 10.] <http://www.diram.cz/cs/mikroskopy/stanoveni-tridy-cistoty-oleju/>.
9. **Jak funguje Spektrometr.** *Web Spectro.cz.* [Online] [Citace: 8. Květen 2018.] <http://representatives.spectro.com/spectro-cz/products/xrf/principle>.
10. **Adash.** Adash A4400 VA Pro. *Web společnosti Adash.* [Online] [Citace: 8. Květen 2018.] <https://adash.com/portable-vibration-devices/a4400-va4-vibration-analyzer>.

Seznam obrázků

Obr. 1-1	Hlavní budova a přilehlé výrobní haly Kovony v Českém Těšíně [1]	11
Obr. 1-2	Výroba ocelových profilů [1]	12
Obr. 1-3	Regálový systém [1]	13
Obr. 1-4	Jedno z výrobních pracovišť [1].....	13
Obr. 1-5	lis ze série ebu STA-G [2]	15
Obr. 1-6	Výroba produktů v pracovním prostoru	15
Obr. 1-7	Hotové výrobky na výrobní lince.....	16
Obr. 2-1	Vanova křivka [4].....	19
Obr. 3-1	Řez smykovým akcelerometrem [4].....	20
Obr. 3-2	Fázové porovnání zrychlení rychlosti a výchylky [4]	22
Obr. 5-1	Vzorkovnice s oleji.....	24
Obr. 5-2	Místo odběru převodového oleje (snímek pořízen při výměně oleje).....	25
Obr. 5-3	Čerpadla k rozvádění oleje a filtry.....	25
Obr. 5-4	Místo odběru hydraulického oleje	26
Obr. 5-5	Kapilární viskozimetr [7].....	28
Obr. 5-6	Coulometr Diram WTD.....	30
Obr. 5-7	Coulometr	32
Obr. 5-8	Mikroskop s příslušným pc softwarem [8]	34
Obr. 5-9	Referenční převod. Obr. 5-10 Převod. 15. 1. 18	35
Obr. 5-11	Převod. 25. 4. 18 Obr. 5-12 Hydraulický	35
Obr. 5-13	Příklad snímek filtru převodového oleje (25. 4.) při 50x přiblížení	36
Obr. 5-14	Rentgenový spektrometr SPECTRO XEPOS	39
Obr. 5-15	Infračervený spektrometr	40
Obr. 5-16	Spektrální analýza: referenční vzorek a 2 použité vzorky převodové oleje	40
Obr. 6-1	Analýzátor vibrací (ilustrační obrázek) [9]	41
Obr. 6-2	Pracovní prostředí Vitruál Unit	42
Obr. 6-3	Schéma měřících míst	43
Obr. 6-4	Měřící místa na pravém elektromotoru	44
Obr. 6-5	Srovnání frekvenčního spektra rychlosti vibrací v místě L1, 1. měření vpředu, poslední vzadu (vertikální směr)	45
Obr. 6-6	Frekvenční spektrum rychlosti vibrací v místě L1, 2. měření (vertikální směr)	45
Obr. 6-7	Časový záznam rychlosti vibrací v místě L1 při 2. měření (vertikální směr).....	46
Obr. 6-8	Měřící místa na levém elektromotoru	47
Obr. 6-9	Srovnání frekvenčního spektra rychlosti vibrací v místě L1, 1. měření vpředu, poslední vzadu (vertikální směr)	48
Obr. 6-10	Frekvenční spektrum rychlosti vibrací v místě L1, 2. měření (vertikální směr)	48
Obr. 6-11	Časový záznam rychlosti vibrací v místě L1 při 2. měření (vertikální směr).....	49
Obr. 6-12	Schéma planetové převodovky	50
Obr. 6-13	Měřící místa na planetové převodovce.....	51
Obr. 6-14	Srovnání frekvenčního spektra rychlosti vibrací v místě L1, 1. měření vpředu, poslední vzadu (vertikální směr)	52
Obr. 6-15	Frekvenční spektrum rychlosti vibrací v místě L1, 2. měření (vertikální směr)	53
Obr. 6-16	Časový záznam zrychlení vibrací, měřící místo L3, 2. měření (vertikální směr).....	53
Obr. 6-17	Časový záznam zrychlení vibrací, měřící místo L3, 2. měření (axiální směr).....	54
Obr. 6-18	Měřící místa na ojničních ložiskách.....	55
Obr. 6-19	Časový záznam zrychlení vibrací, ložisko L1, 1. měření (vertikální směr)	56
Obr. 6-20	Časový záznam zrychlení vibrací, ložisko L1, 2. měření (vertikální směr)	56

Obr. 6-21	Frekvenční spektrum rychlosti vibrací, ložisko L1, axiální směr, 1. měření	57
-----------	--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1-1	Technické parametry lisu	16
Tabulka 3-1	Vliv připevnění na výkon snímače [4]	21
Tabulka 5-1	Parametry oleje Mobilgear 600 XP 68 dle výrobce	26
Tabulka 5-2	Parametry oleje Lotos HM 46 dle výrobce	26
Tabulka 5-3	Naměřené hodnoty viskozity	28
Tabulka 5-4	Naměřené výsledky obsahu vody	30
Tabulka 5-5	Výsledky měření čísla kyselosti	31
Tabulka 5-6	Výsledky měření kódu čistoty dle normy ČSN ISO 4406	33
Tabulka 5-7	Výsledky měření kódu čistoty dle normy NAS 1638	34
Tabulka 5-8	Výsledky rentgenové spektrometrie: otěrové kovy	37
Tabulka 5-9	Výsledky rentgenové spektrometrie: aditiva	38
Tabulka 6-1	Mezní efektivní hodnoty rychlosti vibrací	42
Tabulka 6-2	Naměřené hodnoty vibrací na pravém elektromotoru	44
Tabulka 6-3	Naměřené hodnoty vibrací na levém elektromotoru	47
Tabulka 6-4	Naměřené hodnoty vibrací na planetové převodovce	52
Tabulka 6-5	Naměřené hodnoty vibrací na ojnicích ložiskách	55

Seznam příloh

Příloha A	Tribodiagnostická zpráva vzorku převodového oleje odebraného 15. 1. 2018
Příloha B	Tribodiagnostická zpráva vzorku převodového oleje odebraného 25. 4. 2018
Příloha C	Tribodiagnostická zpráva vzorku hydraulického oleje odebraného 25. 4. 2018